

# **REFORÇO DE FUNDAÇÕES DE EDIFÍCIOS COM MICROESTACAS**

**Lucas de Freitas Souza**

*Dissertação apresentada à Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia da Construção, no âmbito do programa de dupla diplomação com o Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.*

## **Orientação:**

Doutor António Miguel Verdelho Paula (IPB)

Doutor Manuel Teixeira Brás César (IPB)

Doutor Armando Belato Pereira (CEFET/MG)

Bragança/Portugal

2024/2025

# **REFORÇO DE FUNDAÇÕES DE EDIFÍCIOS COM MICROESTACAS**

**LUCAS DE FREITAS SOUZA**

Dissertação apresentada à Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia da Construção, no âmbito do programa de dupla diplomação com o Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.

**Orientadores:**

Professor Dr. António Miguel Verdelho Paula (IPB)

Professor Dr. Manuel Teixeira Brás César (IPB)

Professor Dr. Armando Belato Pereira (CEFET/MG)

Bragança/Portugal

2024/2025

## **DEDICAÇÃO**

Uma obra sempre começa de baixo para cima, assim como um sonho, motivação. Dedico esta dissertação primeiramente ao meu irmão (Matheus), que foi a fundação do meu sonho de ser engenheiro civil — a base que impulsionou minha escolha. E eternamente, aos meus pais (Leila e Wando), verdadeiros pilares da minha vida, que sempre sustentaram minha caminhada com amor, esforço e valores sólidos. A todos vocês, minha estrutura mais firme, minha maior realização.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus, por sempre me conceder força, saúde, oportunidades de ampliar meu horizonte de conhecimento e propósito para concluir essa etapa extremamente importante da minha vida.

À minha mãe Leila Donizetti Rodrigues, e ao meu pai, Wando de Freitas Souza, por serem meus suportes mais sólidos, representarem os alicerces e sempre estarem presente na minha vida e em todas as minhas escolhas. Agradeço pelos ensinamentos, pela educação, pelo apoio incondicional em cada obstáculo enfrentado e momentos de incerteza. Seu amor, esforço e exemplos sempre foram essenciais para minha motivação e trajetória.

Ao meu irmão, Matheus Henrique Rodrigues Bastos, por ser um símbolo de inspiração e o verdadeiro motivo da minha escolha no caminho da engenharia civil. Sua trajetória sempre foi uma referência as minhas escolhas.

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET/MG), instituição onde minha graduação no curso de engenharia civil foi realizada, contribuindo de forma significativa para minha evolução. Ao Instituto Politécnico de Bragança (IPB) pelo acolhimento, oportunidade de aprender com excelentes profissionais e projetar uma abertura internacional.

Aos meus orientadores, Doutor António Miguel Verdelho Paula, Doutor Manuel Teixeira Brás César e Doutor Armando Belato Pereira por suas contribuições técnicas, orientações fundamentais e pela confiança depositada em meu trabalho.

Por fim, gostaria de agradecer, amigos e familiares, em especial meu amigo Mario, que esteve presente nos momentos mais difíceis e por celebrar comigo as conquistas durante todo o percurso acadêmico.

## RESUMO

Dentro do contexto geotécnico e estrutural da engenharia civil, as fundações configuram-se como elementos fundamentais para a estabilidade e desempenho da superestrutura. Com o passar do tempo, e frente a processos de degradação, a necessidade de reforço e reabilitação tem se tornado cada vez mais relevante, especialmente em projetos de reabilitação urbana. Nesse cenário, destaca-se o uso de microestacas, proposta por Fernando Lizzi em 1982, como uma solução de fundação profunda, de pequeno diâmetro, elevada resistência a esforços axiais e alta versatilidade, adequada a obras em ambientes restritos. A presente dissertação tem como objetivo desenvolver uma análise comparativa e paramétrica sobre o reforço de fundações com microestacas. Para isso, foram criadas duas ferramentas de cálculo em Excel, com uso de *VBA*, que permitem aplicar metodologias de análise estrutural e geotécnica. Os resultados dessas ferramentas foram analisados e comparados com os obtidos pelo software Geo5, com o intuito de validar as abordagens propostas. A primeira ferramenta contempla diferentes métodos de dimensionamento estrutural e geotécnico, permitindo a comparação direta entre abordagens clássicas da literatura e o *software* Geo5, além de possibilitar a avaliação do estudo paramétrico. A segunda ferramenta é voltada para gerar estimativas iniciais de dimensionamento estrutural e geométrico, por meio de informações de entrada, como comprimento da raiz ou diâmetro da microestaca. A dissertação está dividida em 7 capítulos principais que abordam desde a contextualização teórica do tema até o desenvolvimento prático das ferramentas de cálculo e a interpretação dos resultados. Foram realizadas 10 variações do estudo de caso, para avaliar a influência do diâmetro tubular, espessura, comprimento livre, corrosão, diâmetro de perfuração, comprimento da raiz e pressão da injeção. Os outros casos são específicos para validação da segunda ferramenta como instrumento auxiliar em análises iniciais de projeto. Os resultados evidenciam o comportamento diferente dos métodos frente às variações do estudo paramétrico. No campo estrutural, o método de Jimenez Salas (1980) demonstrou maior sensibilidade às variações geométricas da armadura tubular. Em contraste, o método geométrico de Euler (1936) apresentou menor sensibilidade. Já no campo geotécnico, alguns métodos – Zweck (1953), Bowles (1996) e método teórico do Ministério de Fomento (2005) – mostraram-se mais sensíveis ao comprimento da raiz, enquanto os métodos voltados a estacas escavadas e raiz apresentaram maior variação com o diâmetro de perfuração.

**Palavras-chave:** Microestaca; ferramenta de cálculo; estrutural; geotécnico; estudo paramétrico.

## **ABSTRACT**

Within the geotechnical and structural context of civil engineering, foundations are fundamental elements for the stability and performance of the superstructure. Over time, and due to degradation processes, the need for strengthening and rehabilitation has become increasingly relevant, especially in urban rehabilitation projects. In this context, the micropile—proposed by Fernando Lizzi in 1982—stands out as a deep foundation solution characterized by its small diameter, high axial load capacity, and great versatility, particularly suitable for works in restricted environments. This dissertation aims to develop a comparative and parametric analysis of foundation strengthening using micropiles. For this purpose, two calculation tools were developed in Excel, using VBA, which enable the application of structural and geotechnical analysis methodologies. The results from these tools were analyzed and compared with those obtained from the Geo5 software, to validate the proposed approaches. The first tool incorporates different structural and geotechnical design methods, allowing for a direct comparison between classical approaches found in the literature and the Geo5 software, as well as enabling parametric study evaluations. The second tool is designed to provide initial structural and geometric design estimates, based on input data such as root length or micropile diameter. The dissertation is structured into seven main chapters, covering the theoretical background of the topic, the practical development of the calculation tools, and the interpretation of the results. A total of 10 case study variations were performed to assess the influence of tubular diameter, wall thickness, free length, corrosion, drilling diameter, root length, and injection pressure. Additional cases were dedicated to validating the second tool as a support instrument for preliminary design analyses. The results highlight the differing behavior of the methods when subjected to the variations imposed by parametric study. In the structural field, the method of Jiménez Salas (1980) demonstrated greater sensitivity to geometric variations in tubular reinforcement. In contrast, Euler's geometric method (1936) showed lower sensitivity. In the geotechnical field, some methods—Zweck (1953), Bowles (1996), and the theoretical method of the Ministry of Development (2005)—were more sensitive to the root length, whereas methods developed for bored and root piles showed greater variation in response to the drilling diameter.

**Keywords:** Micropile; calculation tool; structural; geotechnical; parametric study.

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>2</b>
1.2.1. REALIZAR UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA APROFUNDADA .....	2
1.2.2. DESENVOLVER FERRAMENTAS DE CÁLCULO .....	3
1.2.3. REALIZAR ESTUDOS PARAMÉTRICOS E ANÁLISES COMPARATIVAS.....	3
1.2.4. CONDUZIR CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS.....	3
<b>1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....</b>	<b>3</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. FUNDAÇÕES .....</b>	<b>5</b>
2.1.1. DEFINIÇÃO DE FUNDAÇÕES.....	5
2.1.2. TIPOS DE FUNDAÇÕES .....	5
2.1.3. REFORÇOS E REABILITAÇÃO EM FUNDAÇÕES.....	7
<b>2.2. MICROESTACAS.....</b>	<b>7</b>
2.2.1. BREVE CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA .....	7
2.2.2. DEFINIÇÃO E CARACTERÍSTICA DAS MICROESTACAS .....	8
2.2.3. MATERIAIS UTILIZADOS .....	9
2.2.3.1. Armaduras .....	10
2.2.3.2. Calda/Argamassa de cimento .....	12
2.2.4. CLASSIFICAÇÃO DAS MICROESTACAS.....	13
2.2.4.1. Classificação quanto ao projeto segundo a FHWA (2005).....	14
2.2.4.2. Classificação quanto ao modelo de construção/selagem segundo a FWHA (2005). 16	
2.2.4.3. Classificação de acordo com o Ministério de Fomento (2005).....	18
2.2.4.3.1. Injeção Prévia .....	19
2.2.4.3.2. Injeção Global Única – IGU .....	19
2.2.4.3.3. Injeção Repetitiva – IR .....	21
2.2.4.3.4. Injeção Repetitiva Seletiva – IRS .....	22
2.2.5. APLICAÇÃO DE MICROESTACAS.....	23
2.2.5.1. Estrutura de Fundações (Reforço e Recalçamento).....	23

2.2.5.2. Outras Aplicações .....	25
2.2.6. PROCESSO CONSTRUTIVO E IMPLEMENTAÇÃO.....	26
2.2.6.1. Perfuração do local da microestaca .....	27
2.2.6.2. Instalação da armadura tubular e varão nervurado .....	29
2.2.6.3. Injeção da calda de cimento.....	29
2.2.6.4. Ligação com a estrutura.....	29
<b>3. MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1. DIMENSIONAMENTO GEOTÉCNICO .....</b>	<b>31</b>
3.1.1. MÉTODOS DESTINADOS PARA MICROESTACAS.....	31
3.1.1.1. Método de Fernando Lizzi (1982).....	31
3.1.1.2. Método de Bustamante e Doix (1985).....	34
3.1.1.3. Métodos do Ministério de Fomento (2005).....	36
3.1.1.3.1. Método Teórico .....	37
3.1.1.3.2. Método Empírico .....	39
3.1.2. MÉTODOS BASEADOS NO DIMENSIONAMENTO DE ANCORAGENS.....	40
3.1.2.1. Método de Littlejohn e Bruce (1977) .....	40
3.1.2.2. Método de Josphe Bowles (1996) .....	42
3.1.3. MÉTODOS BASEADOS EM ESTACAS ESCAVADAS E RAIZ.....	44
3.1.3.1. Método de Heinz Zweck (1953).....	44
3.1.3.2. Método de Aoki e Velloso (1975).....	45
3.1.3.3. Método de Décourt e Quaresma (1978) .....	47
3.1.3.4. Método de David Cabral (1986).....	49
3.1.3.5. Método de Brasfond (1991).....	50
3.1.3.6. Método de Alberto Teixeira (1996) .....	51
<b>3.2. DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL.....</b>	<b>52</b>
3.2.1. CAPACIDADE DE SUPORTE DA SEÇÃO TRANSVERSAL .....	53
3.2.1.1. Vida útil da microestaca .....	53
3.2.1.2. Capacidade de suporte da seção sob esforço de compressão .....	54
3.2.1.2.1. Considerações do software Geo5 (2020) .....	54
3.2.1.2.2. Considerações do Eurocódigo 3.....	55
3.2.2. INFLUÊNCIA DO SOLO NA CAPACIDADE ESTRUTURAL.....	58
3.2.2.1. Modelo de Winkler (1867) .....	58

3.2.2.2. Outras esstimativas do módulo de reação horizontal do solo.....	60
3.2.3. CARGA CRÍTICA DE ENCURVADURA.....	62
3.2.3.1. Método geométrico de Euler (1936).....	62
3.2.3.2. Método de Jiménez Salas (1980).....	66
3.2.3.3. Método de Pierre Souche (1984).....	69
<b>3.3. VERIFICAÇÃO DE ACORDO COM OS ESTADOS LIMITES.....</b>	<b>70</b>
<b>3.4. VERIFICAÇÃO DE ACORDO COM O FATOR DE SEGURANÇA.....</b>	<b>72</b>
<b>4. ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>74</b>
<b>4.1. DESCRIÇÃO DETALHADA .....</b>	<b>74</b>
<b>4.2. CORRELAÇÃO ENTRE OS ENSAIOS E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO.....</b>	<b>75</b>
<b>4.3. ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS GEOTÉCNICOS DO SOLO.....</b>	<b>80</b>
4.3.1. PESO ESPECÍFICO .....	80
4.3.2. COESÃO E ÂNGULO DE ATRITO .....	80
4.3.3. MÓDULO DE ELASTICIDADE.....	82
4.3.4. SÍNTESE DAS INFORMAÇÕES DO ESTUDO DE CASO .....	83
<b>5. DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DAS FERRAMENTAS DE CÁLCULO.....</b>	<b>85</b>
<b>5.1. FERRAMENTA DE CÁLCULO 1.....</b>	<b>86</b>
5.1.1. DESCRIÇÃO .....	86
5.1.2. DEFINIÇÃO DAS INFORMAÇÕES GERAIS .....	86
5.1.3. PÁGINA DOS RESULTADOS .....	89
<b>5.2. FERRAMENTA DE CÁLCULO 2.....</b>	<b>90</b>
5.2.1. DESCRIÇÃO .....	90
5.2.2. DEFINIÇÃO DAS INFORMAÇÕES GERAIS .....	91
5.2.3. PÁGINA DOS RESULTADOS .....	93
<b>5.3. LIMITAÇÕES DAS FERRAMENTAS .....</b>	<b>94</b>
<b>5.4. ESTUDO PARAMÉTRICO.....</b>	<b>94</b>
5.4.1. PRIMEIRA FERRAMENTA – CAPACIDADE ESTRUTURAL.....	96
5.4.1.1. Análise da sensibilidade dos métodos de cálculo.....	96
5.4.1.1.1. 1º Caso – Diâmetro tubular.....	96
5.4.1.1.2. 2º Caso – Espessura tubular.....	97

5.4.1.1.3.	3º Caso – Comprimento livre.....	97
5.4.1.1.4.	4º Caso – Impacto da corrosão.....	98
5.4.2.	PRIMEIRA FERRAMENTA – CAPACIDADE GEOTÉCNICA .....	98
5.4.2.1.	Análise da sensibilidade dos métodos de cálculo .....	98
5.4.2.1.1.	5º Caso – Diâmetro de perfuração .....	98
5.4.2.1.2.	6º Caso – Comprimento da raiz .....	99
5.4.2.1.3.	7º Caso – Impacto da pressão da injeção nos métodos .....	99
5.4.3.	SEGUNDA FERRAMENTA – VALIDAÇÃO.....	100
5.4.3.1.	1º Caso – Comprimento da raiz.....	100
5.4.3.2.	2º Caso – Diâmetro de perfuração .....	100
5.4.3.3.	3º Caso – Validação da ferramenta .....	101
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>102</b>
<b>6.1.</b>	<b>PRIMEIRA FERRAMENTA – CAPACIDADE ESTRUTURAL .....</b>	<b>102</b>
6.1.1.	1º CASO – DIÂMETRO TUBULAR .....	102
6.1.2.	2º CASO – ESPESSURA TUBULAR .....	104
6.1.3.	3º CASO – COMPRIMENTO LIVRE .....	107
6.1.4.	4º CASO – IMPACTO DA CORROSÃO .....	110
<b>6.2.</b>	<b>PRIMEIRA FERRAMENTA – CAPACIDADE GEOTÉCNICA.....</b>	<b>113</b>
6.2.1.	5º CASO – DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO.....	113
6.2.2.	6º CASO – COMPRIMENTO DA RAIZ .....	115
6.2.3.	7º CASO – IMPACTO DA PRESSÃO DE INJEÇÃO NOS MÉTODOS .....	118
<b>6.3.</b>	<b>SEGUNDA FERRAMENTA .....</b>	<b>119</b>
6.3.1.	1º CASO – COMPRIMENTO DA RAIZ .....	120
6.3.2.	2º CASO – DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO.....	121
6.3.3.	3º CASO – VALIDAÇÃO DA FERRAMENTA.....	122
<b>7.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>126</b>
<b>7.1.</b>	<b>SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....</b>	<b>128</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>129</b>
	<b>APÊNDICE A – METODOLOGIA (1ª FERRAMENTA) .....</b>	<b>141</b>

<b>APÊNDICE A.1 – 1º CASO – DIÂMETRO TUBULAR.....</b>	<b>141</b>
<b>APÊNDICE A.2 – 2º CASO – ESPESSURA TUBULAR.....</b>	<b>165</b>
<b>APÊNDICE A.3 – 3º CASO – COMPRIMENTO LIVRE .....</b>	<b>177</b>
<b>APÊNDICE A.4 – 4º CASO – IMPACTO DA CORROSÃO .....</b>	<b>187</b>
<b>APÊNDICE A.5 – 5º CASO – DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO .....</b>	<b>197</b>
<b>APÊNDICE A.6 – 6º CASO – COMPRIMENTO DA RAIZ .....</b>	<b>217</b>
<b>APÊNDICE A.7 – 7º CASO – PRESSÃO DE INJEÇÃO .....</b>	<b>225</b>
<b>APÊNDICE A.8 – RESUMO DOS MÉTODOS DE CÁLCULO .....</b>	<b>230</b>
<b>APÊNDICE B – METODOLOGIA (2ª FERRAMENTA) .....</b>	<b>231</b>
<b>APÊNDICE B.1 – 1º CASO – COMPRIMENTO DA RAIZ.....</b>	<b>231</b>
<b>APÊNDICE B.2 – 2º CASO – DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO .....</b>	<b>234</b>
<b>ANEXO I – ÁBACOS DE BUSTAMANTE E DOIX.....</b>	<b>237</b>
<b>ANEXO II – TABELAS DO EUROCÓDIGO 3 .....</b>	<b>239</b>
<b>ANEXO III – ÁBACOS DE PIERRE SOUCHE.....</b>	<b>241</b>
<b>ANEXO IV – CATÁLOGO DE ARMADURAS.....</b>	<b>249</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Materiais utilizados na microestaca e tipos de seções. (Pereira, 2012) .....	10
Figura 2 - Varão nervurado. (Ferrolimiana, 2025).....	11
Figura 3 - Perfil Tubular. (Antunes, 2012) .....	11
Figura 4 - Calda de cimento. (Antunes, 2012) .....	13
Figura 5 - Classificação da microestaca (Adaptado de FHWA, 2005).....	14
Figura 6 - Microestaca TIPO 1 não reticulada. (adaptado de FHWA, 2005) .....	15
Figura 7 - Microestacas TIPO 2 estrutura reticulada. (adaptado de FHWA, 2005).....	15
Figura 8 - Microestacas TIPO A, B, C e D. (adaptado de FHWA, 2005).....	17
Figura 9 - Injeção global única – IGU. (Ministério de Fomento, 2005).....	20
Figura 10 - Diferentes métodos de execução da segunda fase de IR. (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005).....	21
Figura 11 - Injeção repetitiva seletiva - IRS. (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005) ....	22
Figura 12 - Reforço de fundações superficiais. (Pereira, 2012) .....	24
Figura 13 - Reforço e recalçamento de fundações profundas. (Pereira, 2012) .....	24
Figura 14 - Outras aplicações da microestaca. (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005)..	26
Figura 15 - Processo construtivo das microestacas verticais. (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005).....	27
Figura 16 - Outros métodos de perfuração (Adaptado de FHWA, 2005).....	28
Figura 17 - Atrito unitário limite para areias e cascalho. (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005).....	39
Figura 18 - Atrito unitário limite para argilas e limos. (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005).....	40
Figura 19 - Tensão última de ligação calda-solo (Adaptado de FHWA, 2005).....	41
Figura 20 - Coeficientes de Zweck para carregamento vertical estático (Adaptado de Zweck, 1953).....	44
Figura 21 - Fator de imperfeição e curvas de encurvadura (Adaptado de NP EN 1993-1-1, 2005). .....	57
Figura 22 - Comportamento do solo no modelo de Winkler com diferentes cargas. (Adaptado de Selvadurai, 1979).....	59
Figura 23 - Seção transversal da microestaca submetida a uma carga aplicada.....	60
Figura 24 - Concepção do modelo geométrico de Euler (Geo5, 2020).....	62
Figura 25 - Viga envolta por um solo de Winkler (Timoshenko e Gere, 1985). .....	63

Figura 26 - Estaca parcialmente cravada no solo. (Adaptado de Youssef, 2010).....	70
Figura 27 - Coeficientes parciais de redução dos parâmetros (NP EN 1997-1, 2010).....	71
Figura 28 - Coeficientes parciais de redução das capacidades resistentes (NP EN 1997-1, 2010). .....	71
Figura 29 - Coeficiente parcial relativo ao betão para o Estado Limite Último (NP EN 1992-1- 1, 2010).....	72
Figura 30 - Linha de transporte de contentores .....	74
Figura 31 - Localização das sondagens. ....	76
Figura 32 - Detalhamento da seção do estudo de caso. ....	78
Figura 33 - Posicionamento das vigas de equilíbrio.....	78
Figura 34 - Reações verticais.....	79
Figura 35 - Diagramas para determinação do ângulo de atrito (Diversos autores). ....	82
Figura 36 - Distorção do corte para areias e argilas (Seed e Idris, 1970).....	83
Figura 37 - Síntese de todos os parâmetros utilizados nas ferramentas de cálculo. ....	84
Figura 38 - Ferramentas de cálculo. ....	85
Figura 39 - Descrição - 1ª Ferramenta.....	86
Figura 40 - Definição das informações gerais - 1ª Ferramenta. ....	88
Figura 41 - Página de resultados - 1ª Ferramenta.....	90
Figura 42 - Descrição - 2ª Ferramenta.....	91
Figura 43 - Definição das informações gerais - 2ª Ferramenta. ....	93
Figura 44 - Página de resultados - 2ª Ferramenta.....	94
Figura 45 - Diagrama do estudo paramétrico. ....	95
Figura 46 - Reforço da fundação isolada (2A e 2B) com microestaca.....	95
Figura 47 - Variação do diâmetro tubular - carga crítica. ....	102
Figura 48 - Avaliação da segurança da variação do diâmetro tubular - carga crítica. ....	103
Figura 49 - Variação do diâmetro tubular - resistência do aço. ....	104
Figura 50 - Variação da espessura tubular - carga crítica. ....	105
Figura 51 - Avaliação da segurança da variação da espessura tubular - carga crítica. ....	106
Figura 52 - Variação da espessura tubular - resistência do aço. ....	106
Figura 53 - Variação do comprimento livre - carga crítica.....	107
Figura 54 - Avaliação da segurança da variação do comprimento livre - carga crítica. ....	108
Figura 55 - Variação do comprimento livre - resistência do aço. ....	109
Figura 56 - Impacto da corrosão na capacidade de suporte.....	111

Figura 57 - Avaliação da segurança no impacto da corrosão na capacidade de suporte. ....	111
Figura 58 - Impacto da corrosão na resistência do aço.....	112
Figura 59 - Variação do diâmetro de perfuração. ....	114
Figura 60 - Variação do diâmetro de perfuração. ....	114
Figura 61 - Verificação da segurança para a variação do diâmetro de perfuração. ....	115
Figura 62 - Variação do comprimento da raiz. ....	116
Figura 63 - Variação do comprimento da raiz - gráfico de linhas. ....	116
Figura 64 - Verificação da segurança para a variação do comprimento da raiz. ....	117
Figura 65 - Impacto da pressão da injeção nos métodos. ....	118
Figura 66 - Verificação da segurança para diferentes pressões de injeção (IGU). ....	119
Figura 67 - Detalhamento das informações - Comprimento da raiz - 2ª Ferramenta.....	121
Figura 68 - Detalhamento das informações - Diâmetro de perfuração - 2ª Ferramenta. ....	122
Figura 69 - Resultados da validação da 2ª Ferramenta.....	123
Figura 70 - Validação da capacidade estrutural na 1ª Ferramenta. ....	123
Figura 71 - Validação da capacidade geotécnica na 1ª Ferramenta. ....	123
Figura 72 - Relatório de resultados do Geo5.....	124
Figura 73 - Síntese dos resultados da validação das ferramentas.....	125
Figura 74 - Informações paramétricas - 1º Caso - Diâmetro tubular = 43 mm. ....	141
Figura 75 - Resultados - 1º Caso - Diâmetro tubular = 43 mm. ....	142
Figura 76 - Informações paramétricas - 1º Caso - Diâmetro tubular = 48 mm. ....	143
Figura 77 - Resultados - 1º Caso - Diâmetro tubular = 48 mm. ....	144
Figura 78 - Informações paramétricas - 1º Caso - Diâmetro tubular = 60,3 mm. ....	145
Figura 79 - Resultados - 1º Caso - Diâmetro tubular = 60,3 mm. ....	146
Figura 80 - Informações paramétricas - 1º Caso - Diâmetro tubular = 73,0 mm. ....	147
Figura 81 - Resultados - 1º Caso - Diâmetro tubular = 73,0 mm. ....	148
Figura 82 - Informações paramétricas - 1º Caso - Diâmetro tubular = 88,9 mm. ....	149
Figura 83 - Resultados - 1º Caso - Diâmetro tubular = 88,9 mm. ....	150
Figura 84 - Informações paramétricas - 1º Caso - Diâmetro tubular = 101,6 mm. ....	151
Figura 85 - Resultados - 1º Caso - Diâmetro tubular = 101,6 mm. ....	152
Figura 86 - Informações paramétricas - 1º Caso - Diâmetro tubular = 127,0 mm. ....	153
Figura 87 - Resultados - 1º Caso - Diâmetro tubular = 127,0 mm. ....	154
Figura 88 - Informações paramétricas - 1º Caso - Diâmetro tubular = 152,4 mm. ....	155
Figura 89 - Resultados - 1º Caso - Diâmetro tubular = 152,4 mm. ....	156

Figura 90 - Informações paramétricas - 1º Caso - Diâmetro tubular = 177,8 mm. ....	157
Figura 91 - Resultados - 1º Caso - Diâmetro tubular = 177,8 mm. ....	158
Figura 92 - Informações paramétricas - 1º Caso - Diâmetro tubular = 203,0 mm. ....	159
Figura 93 - Resultados - 1º Caso - Diâmetro tubular = 203,0 mm. ....	160
Figura 94 - Informações paramétricas - 1º Caso - Diâmetro tubular = 244,0 mm. ....	161
Figura 95 - Resultados - 1º Caso - Diâmetro tubular = 244,0 mm. ....	162
Figura 96 - Informações paramétricas - 1º Caso - Diâmetro tubular = 298,0 mm. ....	163
Figura 97 - Resultados - 1º Caso - Diâmetro tubular = 298,0 mm. ....	164
Figura 98 - Informações paramétricas - 2º Caso - Espessura tubular = 3,0 mm. ....	165
Figura 99 - Resultados - 2º Caso - Espessura tubular = 3,0 mm. ....	166
Figura 100 - Informações paramétricas - 2º Caso - Espessura tubular = 6,5 mm. ....	167
Figura 101 - Resultados - 2º Caso - Espessura tubular = 6,5 mm. ....	168
Figura 102 - Informações paramétricas - 2º Caso - Espessura tubular = 7,5 mm. ....	169
Figura 103 - Resultados - 2º Caso - Espessura tubular = 7,5 mm. ....	170
Figura 104 - Informações paramétricas - 2º Caso - Espessura tubular = 8,5 mm. ....	171
Figura 105 - Resultados - 2º Caso - Espessura tubular = 8,5 mm. ....	172
Figura 106 - Informações paramétricas - 2º Caso - Espessura tubular = 9,5 mm. ....	173
Figura 107 - Resultados - 2º Caso - Espessura tubular = 9,5 mm. ....	174
Figura 108 - Informações paramétricas - 2º Caso - Espessura tubular = 12,0 mm. ....	175
Figura 109 - Resultados - 2º Caso - Espessura tubular = 12,0 mm. ....	176
Figura 110 - Informações paramétricas - 3º Caso - Comprimento livre = 1,00 m. ....	177
Figura 111 - Resultados - 3º Caso - Comprimento livre = 1,00 m. ....	178
Figura 112 - Informações paramétricas - 3º Caso - Comprimento livre = 2,00 m. ....	179
Figura 113 - Resultados - 3º Caso - Comprimento livre = 2,00 m. ....	180
Figura 114 - Informações paramétricas - 3º Caso - Comprimento livre = 3,00 m. ....	181
Figura 115 - Resultados - 3º Caso - Comprimento livre = 3,00 m. ....	182
Figura 116 - Informações paramétricas - 3º Caso - Comprimento livre = 4,00 m. ....	183
Figura 117 - Resultados - 3º Caso - Comprimento livre = 4,00 m. ....	184
Figura 118 - Informações paramétricas - 3º Caso - Comprimento livre = 5,00 m. ....	185
Figura 119 - Resultados - 3º Caso - Comprimento livre = 5,00 m. ....	186
Figura 120 - Informações paramétricas - 4º Caso - Corrosão = 5 anos. ....	187
Figura 121 - Resultados - 4º Caso - Corrosão = 5 anos. ....	188
Figura 122 - Informações paramétricas - 4º Caso - Corrosão = 25 anos. ....	189

Figura 123 - Resultados - 4º Caso - Corrosão = 25 anos.....	190
Figura 124 - Informações paramétricas - 4º Caso - Corrosão = 50 anos.....	191
Figura 125 - Resultados - 4º Caso - Corrosão = 50 anos.....	192
Figura 126 - Informações paramétricas - 4º Caso - Corrosão = 75 anos.....	193
Figura 127 - Resultados - 4º Caso - Corrosão = 75 anos.....	194
Figura 128 - Informações paramétricas - 4º Caso - Corrosão = 100 anos.....	195
Figura 129 - Resultados - 4º Caso - Corrosão = 100 anos.....	196
Figura 130 - Informações paramétricas - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 120 mm.....	197
Figura 131 - Resultados - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 120 mm. ....	198
Figura 132 - Informações paramétricas - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 140 mm.....	199
Figura 133 - Resultados - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 140 mm. ....	200
Figura 134 - Informações paramétricas - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 160 mm.....	201
Figura 135 - Resultados - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 160 mm. ....	202
Figura 136 - Informações paramétricas - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 180 mm.....	203
Figura 137 - Resultados - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 180 mm. ....	204
Figura 138 - Informações paramétricas - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 200 mm.....	205
Figura 139 - Resultados - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 200 mm. ....	206
Figura 140 - Informações paramétricas - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 220 mm.....	207
Figura 141 - Resultados - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 220 mm. ....	208
Figura 142 - Informações paramétricas - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 240 mm.....	209
Figura 143 - Resultados - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 240 mm. ....	210
Figura 144 - Informações paramétricas - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 260 mm.....	211
Figura 145 - Resultados - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 260 mm. ....	212
Figura 146 - Informações paramétricas - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 280 mm.....	213
Figura 147 - Resultados - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 280 mm. ....	214
Figura 148 - Informações paramétricas - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 300 mm.....	215
Figura 149 - Resultados - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 300 mm. ....	216
Figura 150 - Informações paramétricas - 6º Caso - Comprimento da raiz = 14 m.....	217
Figura 151 - Resultados - 6º Caso - Comprimento da raiz = 14 m.....	218
Figura 152 - Informações paramétricas - 6º Caso - Comprimento da raiz = 15 m.....	219
Figura 153 - Resultados - 6º Caso - Comprimento da raiz = 15 m.....	220
Figura 154 - Informações paramétricas - 6º Caso - Comprimento da raiz = 16 m.....	221
Figura 155 - Resultados - 6º Caso - Comprimento da raiz = 16 m.....	222

Figura 156 - Informações paramétricas - 6º Caso - Comprimento da raiz = 17 m.....	223
Figura 157 - Resultados - 6º Caso - Comprimento da raiz = 17 m.....	224
Figura 158 - Informações paramétricas - 7º Caso - Pressão da injeção = 0,6 MPa.....	225
Figura 159 - Resultados - 7º Caso - Pressão da injeção = 0,6 MPa.....	225
Figura 160 - Informações paramétricas - 7º Caso - Pressão da injeção = 0,7 MPa.....	226
Figura 161 - Resultados - 7º Caso - Pressão da injeção = 0,7 MPa.....	226
Figura 162 - Informações paramétricas - 7º Caso - Pressão da injeção = 0,8 MPa.....	227
Figura 163 - Resultados - 7º Caso - Pressão da injeção = 0,8 MPa.....	227
Figura 164 - Informações paramétricas - 7º Caso - Pressão da injeção = 0,9 MPa.....	228
Figura 165 - Resultados - 7º Caso - Pressão da injeção = 0,9 MPa.....	228
Figura 166 - Informações paramétricas - 7º Caso - Pressão da injeção = 1,0 MPa.....	229
Figura 167 - Resultados - 7º Caso - Pressão da injeção = 1,0 MPa.....	229
Figura 168 - Métodos de cálculo da carga crítica de encurvadura. ....	230
Figura 169 - Métodos de cálculo da resistência total da raiz.....	230
Figura 170 - Informações paramétricas - 1º Caso B.1 - Comprimento da raiz = 13 m. ....	231
Figura 171 - Resultados - 1º Caso B.1 - Comprimento da raiz = 13 m. ....	231
Figura 172 - Informações paramétricas - 1º Caso B.1 - Comprimento da raiz = 16 m. ....	232
Figura 173 - Resultados - 1º Caso B.1 - Comprimento da raiz = 16 m. ....	232
Figura 174 - Informações paramétricas - 1º Caso B.1 - Comprimento da raiz = 19 m. ....	233
Figura 175 - Resultados - 1º Caso B.1 - Comprimento da raiz = 19 m. ....	233
Figura 176 - Informações paramétricas - 2º Caso B.2 - Diâmetro de perfuração = 120 mm. ....	234
Figura 177 - Resultados - 2º Caso B.2 - Diâmetro de perfuração = 120 mm.....	234
Figura 178 - Informações paramétricas - 2º Caso B.2 - Diâmetro de perfuração = 160 mm. ....	235
Figura 179 - Resultados - 2º Caso B.2 - Diâmetro de perfuração = 160 mm.....	235
Figura 180 - Informações paramétricas - 2º Caso B.2 - Diâmetro de perfuração = 200 mm. ....	236
Figura 181 - Resultados - 2º Caso B.2 - Diâmetro de perfuração = 200 mm.....	236
Figura 182 - Ábaco de Bustamante e Doix para areias e cascalhos (Adaptado de Bustamante e Doix, 1985).....	237
Figura 183 - Ábaco de Bustamante e Doix para argilas e limos (Adaptado de Bustamante e Doix, 1985).....	237
Figura 184 - Ábaco de Bustamante e Doix para rochas calcárias (Adaptado de Bustamante e Doix, 1985).....	238

Figura 185 - Ábaco de Bustamante e Doix para rochas alteradas/fragmentadas (Adaptado de Bustamante e Doix, 1985). .....	238
Figura 186 - Proporções máximas de largura e espessura para peças de compressão (NP EN 1993-1-1, 2005). .....	239
Figura 187 - Seleção da curva de encurvadura para seção transversal (NP EN 1993-1-1, 2005). .....	240
Figura 188 - Ábaco de Souche, base articulada – cabeça livre (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005).....	241
Figura 189 - Ábaco de Souche, base articulada - cabeça com deslocamento horizontal sem giro (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005).....	242
Figura 190 - Ábaco de Souche, base articulada - cabeça articulada (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005).....	243
Figura 191 - Ábaco de Souche, base articulada - cabeça encastrada (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005).....	244
Figura 192 - Ábaco de Souche, base encastrada - cabeça livre (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005).....	245
Figura 193 - Ábaco de Souche, base encastrada - cabeça com deslizamento horizontal sem giro (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005).....	246
Figura 194 - Ábaco de Souche, base encastrada - cabeça articulada (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005).....	247
Figura 195 - Ábaco de Souche, base encastrada - cabeça encastrada (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005).....	248
Figura 196 - Catálogo de armaduras (Grupo Sondeos, 2025). .....	249

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo dos conceitos sobre Recalçamento e Reforço. ....	25
Tabela 2 - Diâmetros de perfuração, revestimento e armadura tubular mais usuais. (Ministério de Fomento, 2005).....	28
Tabela 3 - Atrito Superficial Médio e Coeficiente de Influência de Furo. (Adaptado de Lizzi, 1982).....	32
Tabela 4 - Atrito Superficial Médio (DIN 4128) .....	33
Tabela 5 - Atrito Superficial Médio (CSN 73 1004) .....	33
Tabela 6 – Coeficiente $\alpha$ . (Adaptado de Bustamante e Doix, 1985) .....	35
Tabela 7 - Coeficiente de minoração. (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005) .....	38
Tabela 8 - Fatores de correção (Cintra e Aoki, 2010).....	46
Tabela 9 - Coeficiente de conversão e razão de atrito (Cintra e Aoki, 2010).....	46
Tabela 10 – Coeficientes empíricos $\alpha$ e $\beta$ (Décourt, 1996). .....	48
Tabela 11 - Coeficiente característico do solo (Décourt, 2016). .....	48
Tabela 12 - Coeficientes de Cabral que depende do tipo de solo (Cabral, 1986).....	49
Tabela 13 - Coeficiente da resistência de ponta (Brasfond, 2001). .....	50
Tabela 14 - Coeficientes de correção de Teixeira (Pereira <i>et al</i> , 2020).....	52
Tabela 15 - Redução da espessura em milímetros. (Adaptado de NP EN 14199, 2015).....	53
Tabela 16 – Coeficiente $\alpha_p$ . (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005).....	61
Tabela 17 – Coeficiente $k_h$ . (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005) .....	62
Tabela 18 - Fator KD. (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005) .....	67
Tabela 19 - Fator A (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005).....	68
Tabela 20 - Coeficiente $f$ . (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005).....	68
Tabela 21 - Peso específico de acordo com ensaio SPT. (Godoy, 1972).....	80
Tabela 22 - Formulário para determinação do ângulo de atrito (Diversos autores). .....	81

## **ÍNDICE DE QUADROS**

Quadro 1 - Síntese das definições dos tipos de fundações. ....	6
Quadro 2 – Breve exposição das aplicações das microestacas de acordo com a classificação. (FHWA, 2005) .....	17
Quadro 3 - Subtipos de microestacas. (FHWA, 2005) .....	18
Quadro 4 - Informações geológico-geotécnicas do estudo de caso .....	76
Quadro 5 - Correlações dos resultados dos ensaios SPT com ensaio CPT e as características de resistência dos terrenos (Relatório do Estudo de Caso). ....	77
Quadro 6 - Parâmetros do 1º Caso – Armadura tubular – Primeira ferramenta .....	97
Quadro 7 - Parâmetros do 2º Caso – Armadura tubular – Primeira ferramenta. ....	97
Quadro 8 - Parâmetros do 3º Caso – Armadura tubular – Primeira ferramenta. ....	98
Quadro 9 - Parâmetros do 1º Caso – Raiz – Primeira ferramenta. ....	99
Quadro 10 - Parâmetros do 2º Caso – Raiz – Primeira ferramenta. ....	99

# 1. INTRODUÇÃO

Dentro do contexto da engenharia geotécnica e estrutural da construção civil, a fundação surge como um elemento fundamental para suporte de toda a estrutura. Sabe-se que o uso da microestaca como soluções para fundações profundas tem ganhado mais destaque e uma importância crescente no setor, especialmente em obras de reforço de fundação. As microestacas são caracterizados pelo pequeno diâmetro quando comparada com outras estacas convencionais, possuindo uma elevada resistência e grande capacidade de adaptabilidade, principalmente em situações urbanas restritas, surgindo como uma alternativa mais viável, tanto economicamente, quanto tecnicamente. Seu emprego é amplamente justificado pela capacidade de instalação com controle rigoroso de execução e compatibilidade com estruturas já em uso. Devido a essas qualidades/características, surgem no campo acadêmico vários estudos que se direcionam para analisar as microestacas sob diferentes aspectos, desde o processo de dimensionamento até considerações essenciais na execução do reforço/recalçamento.

Em conformidade com trecho destacado no parágrafo anterior, diversos estudos têm destacado a relevância do uso de microestacas como solução técnica eficaz para reforço de fundações, em ambientes urbanos, industriais ou patrimoniais. Trabalhos como Pereira (2012) e Marques (2016) estudam e propõem diretrizes para o dimensionamento de ligações aço/calda/betão, além de enfatizarem o efeito rugoso, confinamento passivo e a importância da aderência na eficiência estrutural em reabilitações, ambos estudos são relevantes para o contexto em questão, o primeiro trata-se de uma tese de doutoramento, sendo uma referência em Portugal. O trabalho de Pereira (2012) é tão robusto que preenche lacunas normativas no Brasil e Portugal. As dissertações de mestrado como Antunes (2012), Teixeira (2014), Magalhães (2014), Silva (2016) e Barbosa (2019) abordam uma aplicabilidade mais prática, destinada ao dimensionamento das microestacas com base normativa. Recentemente, Khidri *et al* (2025) trouxe uma perspectiva que apresenta simulações numéricas em microestacas helicoidais submetidas a carregamento lateral, com a utilização de modelo BNWF – *Beam on Nonlinear Winkler Foundation*, que representa uma viga numa fundação não linear do modelo de Winkler.

Observa-se que grande parte dos estudos se concentram em abordagens mais isoladas, como determinar a capacidade geotécnica da raiz, ou verificar a estabilidade de elementos estruturais, ou trabalhar em conceitos acerca do reforço e reabilitação das fundações, sendo esses aspectos muito importantes para uma aplicação real. Diante disso, é indispensável complementar os avanços da literatura, com a inclusão de informações relevantes para

microestacas, como: variações geométricas, efeitos de corrosão ao longo do tempo, pressão da injeção e uma comparação entre os diferentes métodos de cálculo para capacidade estrutural e geotécnica.

Soma-se a isso a escassez de ferramentas acessíveis que integrem tais métodos de forma automatizada e transparente. O *software* Geo5, amplamente utilizado na engenharia geotécnica, oferece diversas opções para análise de microestacas e é referência consolidada no setor. Contudo, observa-se a oportunidade de complementar suas funcionalidades por meio do desenvolvimento de uma ferramenta prática em ambiente Microsoft Excel com abordagem VBA – *Visual Basic Application*, capaz de automatizar cálculos baseados em metodologias consagradas, incluindo algumas que não estão disponíveis no Geo5. Esta proposta visa, além da validação cruzada dos resultados com o Geo5, disponibilizar uma alternativa de fácil acesso e aplicação para o pré-dimensionamento e análises iniciais de microestacas, promovendo a difusão de conhecimento técnico e contribuindo para o aprimoramento do projeto de fundações em obras de reabilitação ou reforço estrutural.

## 1.1. OBJETIVO GERAL

Desenvolver uma análise aprofundada e fundamentada sobre o reforço de fundações de edifícios utilizando microestacas em fundações isoladas, explorando diferentes metodologias de análise. Para isso, foi criada uma ferramenta de cálculo automático em Excel que permita a aplicação dessas metodologias e realizar um estudo paramétrico combinado com uma análise comparativa com os resultados obtidos pelo programa de cálculo Geo5 (versão 2020), a fim de gerar conclusões relevantes para o aprimoramento técnico e prático na área, além de permitir a validação das ferramentas desenvolvidas.

## 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

### 1.2.1. Realizar uma revisão bibliográfica aprofundada

Investigar de forma abrangente o tema das microestacas, abordando conceitos fundamentais, classificações, características construtivas, materiais empregados, principais aplicações (inclusive além do reforço de fundações) e aspectos do processo construtivo. Além disso, pretende-se analisar criticamente as metodologias de análise estrutural e geotécnica de microestacas disponíveis no *software* Geo5 (versão 2020), bem como outras abordagens consagradas na literatura técnica e científica.

### 1.2.2. Desenvolver ferramentas de cálculo

Projetar e implementar duas ferramentas de cálculo em ambiente Microsoft Excel, baseadas no contexto de um estudo de caso e alinhadas às normas técnicas vigentes. A primeira ferramenta terá como foco a caracterização e verificação completa da microestaca segundo diferentes métodos de análise. A segunda será dedicada ao pré-dimensionamento do elemento de reforço com base em esforços axiais de projeto.

### 1.2.3. Realizar estudos paramétricos e análises comparativas

Realizar estudos paramétricos com o objetivo de avaliar o comportamento dos métodos de cálculo frente à variação dos principais parâmetros dimensionais da microestaca. Posteriormente, comparar os resultados obtidos nas ferramentas desenvolvidas com os fornecidos pelo software Geo5 (versão 2020), a fim de avaliar a acurácia, aplicabilidade e limitações de cada abordagem.

### 1.2.4. Conduzir conclusões e recomendações técnicas

Sintetizar os principais resultados obtidos ao longo do estudo, destacando as contribuições das ferramentas desenvolvidas e dos métodos analisados. Apontar as implicações práticas e teóricas dos resultados, além de apresentar recomendações para aplicação futura em projetos de reforço de fundações com microestacas.

## 1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está organizada em seis capítulos principais, que abordam desde a contextualização teórica do tema até o desenvolvimento prático das ferramentas de cálculo e a interpretação dos resultados. A estrutura foi pensada de forma a conduzir o leitor de maneira lógica e progressiva pelos fundamentos técnicos, metodológicos e aplicados relacionados ao reforço de fundações com microestacas. Sendo assim, o presente trabalho inicia-se:

- Capítulo 1 – Introdução: apresenta o contexto do trabalho, o objetivo geral e os objetivos específicos, a justificativa para a pesquisa e a descrição da estrutura adotada.
- Capítulo 2 – Revisão bibliográfica: aborda os principais conceitos teóricos necessários para o entendimento do tema, incluindo os tipos de fundações, os processos de reforço, a definição, classificação e execução de microestacas, os materiais utilizados e a interação solo-estrutura que é fundamental para aplicação estrutural.

- Capítulo 3 – Métodos de dimensionamento e verificações de segurança: detalha os principais métodos de dimensionamento estrutural e geotécnico de microestacas, com ênfase em metodologias consagradas da literatura técnica, nacionais e internacionais. Este capítulo também apresenta os critérios de verificação por estados limites e fatores de segurança em conformidade com as normas técnicas portuguesas/europeias e brasileira, respectivamente.
- Capítulo 4 – Estudo de Caso: apresenta o estudo de caso, incluindo a descrição das condições geológico-geotécnicas por meio da caracterização do solo. São também estimados parâmetros necessários ao método de cálculo da resistência da raiz. Por fim, sistematizam-se as informações fundamentais para o pré-dimensionamento e análise das microestacas. Essa etapa é essencial para validar as referências adotadas nas estimativas e correlações aplicadas no estudo.
- Capítulo 5 – Desenvolvimento e análises das ferramentas de cálculo: descreve o desenvolvimento de duas ferramentas computacionais em ambiente Excel alimentadas com VBA – *Visual Basic Applications*, com o objetivo de automatizar os cálculos estruturais e geotécnicos de microestacas com base nos métodos apresentados. O capítulo também inclui um estudo paramétrico que avalia a sensibilidade dos resultados frente à variação de parâmetros de entrada, além da comparação entre os resultados obtidos e aqueles fornecidos pelo *software* Geo5.
- Capítulo 6 – Resultados e Discussões: apresenta e interpreta os resultados obtidos por meio das ferramentas desenvolvidas, destacando os efeitos da variação dos parâmetros sobre o desempenho estrutural e geotécnico das microestacas. Esta análise é fundamental para a validação dos modelos adotados e para a formulação de conclusões sobre a aplicabilidade prática das ferramentas propostas.
- Capítulo 7 – Conclusões e considerações finais: sintetiza e conclui os principais resultados do capítulo 6 em relação a convergência/divergência dos métodos analisados. Além de validar as ferramentas de cálculo e propor sugestões para trabalhos futuros.

Ao longo da dissertação, buscou-se integrar fundamentos teóricos e definições com aplicação prática do estudo de caso, de forma a oferecer ao leitor uma contribuição técnica relevante e aplicável ao contexto da engenharia geotécnica, em especial no que se refere ao reforço de fundações com microestacas.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. FUNDAÇÕES

#### 2.1.1. DEFINIÇÃO DE FUNDAÇÕES

A fundação, também conhecida como subestrutura, é a parte composta por elementos estruturais, que transmitem para o solo as cargas provenientes da edificação devido a sobrecargas verticais, entre outras. Essa região estrutural está localizada geralmente abaixo do nível do terreno e a transferência dessas cargas devem ser realizados pelas fundações de modo a evitar recalques excessivos ou falhas nos solos. Este elemento que compõe a estrutura da edificação pode ser dividido em fundações superficiais/rasas e profundas, esses ainda podem ser subdivididos em mais categorias (Bastos, 2023; ABNT NBR 6122, 2022 e NP EN 1997, 2010).

Falconi *et al* (2019) menciona que a escolha da categoria/tipo de fundação depende de vários fatores. Primeiramente é essencial verificar a magnitude das cargas previstas, combinados a isso tem-se as características do solo, da obra e informações sobre a condição de estruturas vizinhas. Todos esses cuidados permitem uma visão mais técnica na seleção da fundação. Esse critério técnico, baseado na engenharia do terreno e da estrutura, é essencial para evitar soluções inadequadas e promover decisões mais seguras. Em seguida, consideram-se aspectos de mercado, como a viabilidade econômica, disponibilidade de materiais e equipamentos, e a experiência local com determinadas tecnologias. Dentro desse escopo, entram também fatores ambientais, legislações específicas, metodologias construtivas e condições de execução. Por fim, o dimensionamento das fundações deve respeitar as normas técnicas vigentes, as quais variam conforme a região de aplicação e o tipo estrutural adotado.

#### 2.1.2. TIPOS DE FUNDAÇÕES

Conforme mencionado as fundações necessitam de vários critérios que determinam a sua categoria/tipo. Diante disso, a norma portuguesa NP EN 1997 (2010), referente a projetos geotécnicos, divide as fundações em 2 principais tipos: fundações superficiais e fundações profundas. As fundações superficiais englobam as sapatas isoladas, sapatas contínuas e ensoleiramentos gerais. Já as fundações profundas, consiste em tubulões e estacas. Para os estacamentos, a referida norma descreve-os como elementos estruturais que podem trabalhar com resistência de ponta, resistência lateral ou misto e podem ser instaladas por meio de cravação, macacos, trados ou extração do terreno. Devido a variabilidade das estacas, a norma sugere outras normas para sua construção e fiscalização:

- NP EN 1536:2015, para estacas instaladas com extração do terreno
- NP EN 12699:2015, para estacas instaladas com deslocamento do terreno;
- NP EN 14199:2015, para microestacas.

Assim como a norma portuguesa, a norma brasileira ABNT NBR 6122 (2022) divide a fundação em 2 tipos: fundação rasa (superficial ou direta) e fundação profunda. A norma define a fundação rasa como “elemento de fundação cuja base está assentada em profundidade inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação, recebendo aí as tensões distribuídas que equilibram a carga aplicada” (ABNT NBR 6122:2022, p. 5, seção 3.28), nessa categoria englobam sapatas isoladas, corridas, associadas, blocos e radier. Para as fundações profundas tem-se a definição baseada na capacidade de carga, parecido com a norma portuguesa. Ressaltando que as subdivisões de ambas as normas são parecidas. Diante disso, de modo a sintetizar as informações sobre as subdivisões, o Quadro 1 demonstra uma breve definição de cada tipo de fundação, com base no livro de Falcone *et al.* (2019), Budhu (2013), ABNT NBR 6122, 2022 e NP EN 1997, 2010).

Quadro 1 - Síntese das definições dos tipos de fundações.

<b>Tipos</b>	<b>Subtipos</b>		<b>Definição</b>
<b>Fundação rasa/superficial</b>	Sapatas	Isolada	Elementos de apoio de betão armado, frequentemente quadrada/retangular destinada a distribuir a carga proveniente de 1 pilar para o solo
		Contínua	Elemento destino para cargas lineares e alvenarias, com a largura muito maior que a base
		Associada	Destinada para associar pilares muito próximos. Uma sapata comporta 2 ou mais pilares
	Ensoleiramento geral		Utilizada quando as sapatas isoladas ou contínuas não são tecnicamente viáveis ou quando os recalques diferenciais são críticos.
	Bloco de fundação		São elementos de apoio de betão simples destinados a suportar esforços de compressão, sendo assim necessitam uma altura relativamente alta.
<b>Fundação profunda</b>	Estacas	Cravada	Pode ser chamada de estacas de “deslocamento”. Esse tipo de fundação profunda é introduzido sem a remoção de solo
		Moldadas	Denominada também “estacas escavadas”. São aquelas executadas em “ <i>in situ</i> ” com remoção de um material, com ou sem revestimento e fluido estabilizante. A microestaca, elemento que direciona essa dissertação é derivada de estaca raiz que é uma estaca escavada.
	Tubulão		São elementos estruturais que necessitam da descida de um operário para deixar a base alargada, sendo essa a característica que diferencia os tubulões das estacas, de modo geral são poços aberto no terreno posteriormente betonados.
	Caixões		Estruturas grandes em forma de caixa utilizadas geralmente sob o nível d’água, preenchidas com concreto ou materiais granulares.

### 2.1.3. REFORÇOS E REABILITAÇÃO EM FUNDAÇÕES

Independente da sua tipologia, uma vez que o sistema de fundações de um edifício pode sofrer degradações, a necessidade de reforço e reabilitação tem-se tornado cada vez mais evidente no contexto da reabilitação urbana e da conservação ao longo do tempo de uma determinada edificação. A ineficiência das fundações é uma das situações que motivam um projeto de reforço de fundações. Outros fatores que podem ser mencionados estão relacionados ao aumento da carga atuante devido a uma alteração no uso da construção e alterações nas condições do terreno, por exemplo, descompressão do solo. Os métodos convencionais incluem técnicas como a consolidação de materiais, o alargamento das bases de fundação, o recalçamento com novos elementos estruturais, bem como intervenções mais sofisticadas como o *jet grouting*. No entanto, a crescente complexidade das intervenções em meio urbano, aliada à limitação de acessos, à presença de infraestruturas enterradas e à necessidade de controlar deformações diferenciais, tem impulsionado o uso das microestacas como solução versátil e eficiente. Esses elementos estruturais possibilitam transferência de cargas para camadas mais profundas, minimizando impactos, aumentando a segurança estrutural da edificação e construções adjacentes e oferecendo melhoria geomecânica (Magalhães, 2014; Neves, 2010).

## 2.2. MICROESTACAS

### 2.2.1. BREVE CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA

O desenvolvimento das microestacas teve origem no contexto de reconstrução pós-Segunda Guerra Mundial, quando diversos edifícios apresentavam danos estruturais, exigindo soluções de reforço de fundações com mínima interferência nas construções vizinhas. Diante desse cenário, no ano de 1952, o Doutor Fernando Lizzi desenvolveu o elemento de reforço por meio de um projeto de recalçamento eficaz ao criar uma rede de estacas finas moldadas *in loco* e armaduras de aço que pode ser executada em qualquer tipo de solo. A principal ideia de Lizzi era produzir um complexo de fundação por meio de sistema reticulado que simula raízes de árvore e consolida o solo, transformando-o em uma espécie de “solo armado”. Nesse contexto surge “*pali radice*”, que significa: estacas em raiz. A aplicação da técnica foi tão impactante e após a apresentação de Lizzi no “X Convegno di Geotecnia” várias empresas começaram a desenvolver estacas com processos semelhantes, no entanto sem especificações sobre a pressão de injeções (Barbosa, 2019; Antunes, 2012; Alonso, 2016, Teixeira, 2014 e Brito, 2000).

De acordo com Francisco (2007), Gonçalves (2010) e Antunes (2012), em Portugal as primeiras execuções de microestacas foram na transição das décadas de 1970 para 1980, em

reforço e recalçamento de fundações superficiais. Na próxima década, foram aplicadas para reabilitação de edificações antigas. Atualmente, microestacas se tornaram uma solução preferencial em obras de reabilitação urbana, graças à sua adaptabilidade, baixa intrusão e versatilidade, como pode ser evidenciado em casos emblemáticos, como a reabilitação do Theatro Circo em Braga e do Hotel Lanidor em Lisboa. Segundo Barbosa (2019) e Caliari (2008), no Brasil, os elementos de reforço foram introduzidos também na transição das décadas de 1970 e 1980 pelo professor Costa Nunes sob a denominação de presso-ancoragem, em que, basicamente, eram tirantes injetados que conseguiam trabalhar sob compressão. Atualmente, devido as inovações tecnológicas as microestacas se diferenciam dos demais métodos de estacamento por causa da sua viabilidade, sendo essa afirmação confirmada por Cabral (1986) ainda no início de desenvolvimento do elemento estrutural no país.

### 2.2.2. DEFINIÇÃO E CARACTERÍSTICA DAS MICROESTACAS

A ABNT NBR 6122 (2022) define as microestacas como elementos estruturais executados diretamente no local independente do diâmetro, utilizando métodos de perfuração rotativa com revestimento metálico ou técnicas rotopercussivas, principalmente em materiais como matacões ou rochas. Após a perfuração, essas estacas são reforçadas com armaduras e preenchidas com calda de cimento ou argamassa, que é injetada através de um tubo tipo manchete, com o objetivo de aumentar a resistência ao atrito lateral. As microestacas são elementos estruturais capazes de suportarem a compressão e tração devido essencialmente ao atrito gerado pela interação lateral entre solo-estrutura no caso de estacas moldadas. A norma portuguesa NP EN 14199 (2015), por sua vez, considera critérios adicionais de classificação, incluindo o diâmetro e o processo construtivo, alinhado ao Bruce *et al* (1995). O autor destaca que a tipologia das estacas pode ser dividida em dois grupos principais: estacas cravadas e estacas moldadas, com base no método de implantação adotado.

De acordo com Fleming *et al.* (1985) citado no Relatório de Práticas da *Federal Highway Administration* - FHWA (2000) desenvolvido nos Estados Unidos, as estacas cravadas ou vibradas deslocam o solo para lateral durante o processo que promove uma compressão no substrato para receber o volume do elemento em questão. Pereira (2012) destaca que este tipo de microestaca usa elementos metálicos com diâmetro reduzido e de tamanho entre 0,5 e 1,0 m de comprimento. Vale ressaltar que a maioria dos autores concentram seus estudos na definição de estacas moldadas. As estacas moldadas possuem um diâmetro pequeno geralmente menor que 300 mm, são perfuradas (extração do solo), compostas de calda de cimento de selagem, injetadas “in situ” e posteriormente reforçada com armadura, tubos, perfis metálicos que são

responsáveis por transmitir as cargas advindas da estrutura para as camadas mais profundas do solo. Por trabalharem com esforços axiais e horizontais, assim como uma estaca convencional, esses elementos são uma alternativa para as estacas convencionais ou até mesmo funcionam como um complemento para um projeto estrutural de fundação. Sendo esse elemento moldado no solo, os ruídos e perturbações em solos/construções vizinhas são reduzidos, além do mais à estaca consegue ser posicionada em qualquer ângulo abaixo da horizontal, devido a essa vantagem, pode ser implementada em vários tipos de solos e fundações, ou em locais com condições restritivas (FHWA, 2005; FHWA, 2000; Pereira, 2012).

Conforme mencionado no primeiro parágrafo a transmissão da carga ocorre praticamente na superfície lateral, resultante de uma interação fundamental de fricção de reforço entre a calda de cimento (argamassa) e o solo circundante da fundação, pondere-se que argamassa e o tipo de injeção/perfuração tem influência na resistência da ligação. Por questões geométricas envolvendo o pequeno diâmetro, a resistência da ponta de uma microestaca é negligente se comparada com uma estaca convencional. Ao estabelecer um paralelo em relação a capacidade de carga, nas estacas convencionais a maior parte da carga aplicada é resistida pelo betão reforçado, nesse caso a competência estrutural é promovida pelo aumento da seção transversal. Já as microestacas, estão submetidas a uma dependência estrutural de elementos de aço que resistem a praticamente toda carga aplicada, ainda a respeito, estes ocupam metade do volume do furo do fuste (FHWA, 2000 e Bruce *et al.*, 1995).

### 2.2.3. MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais empregados no processo de execução das microestacas são geralmente os varões de aço, calda ou argamassa de cimento e tem a presença de uma armadura tubular. A capacidade de carga da microestaca influencia no tipo de seção a ser adotada. Sendo assim, a microestaca pode apresentar um ou vários varões incorporados no elemento. O mesmo ocorre para as armaduras tubulares que podem ser individuais ou apresentar-se como um conjunto para promover reforço de fundações (NP EN 14199, 2015 e Pereira, 2012). A Figura 1 mostra os principais tipos de seções que podem ser adotados para microestaca de acordo com Pereira (2012). Os grupos identificados pelas letras (a) e (b) utilizam apenas a calda e o varão. O tipo (c) tem apenas a calda e a armadura tubular. Os demais grupos – (d), (e), e (f) – apresentam todos os materiais, dando destaque para o tipo (f) que contém 2 armaduras tubulares.

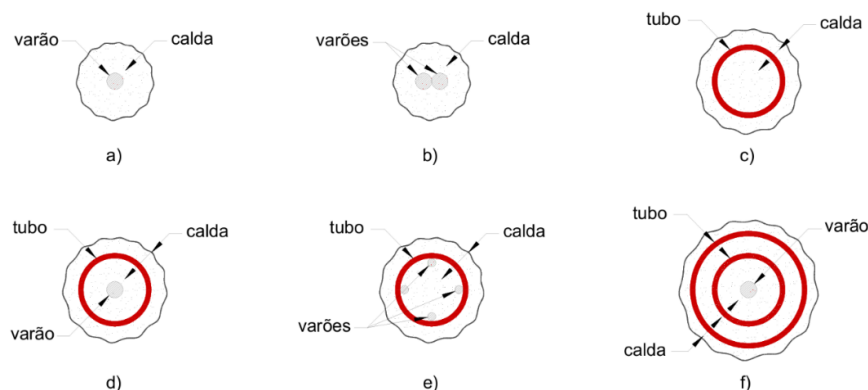


Figura 1 - Materiais utilizados na microestaca e tipos de seções. (Pereira, 2012)

### 2.2.3.1. Armaduras

A carga projetada e a rigidez axial requerida para limitar o deslocamento das microestacas impactam a escolha da armadura que será utilizada. Assim como FHWA (2005) comenta, podem ser empregados varões individuais ou em grupos, tubos estruturais, conforme representado na Figura 1. Os varões destinados a estruturas de concreto devem atender aos requisitos normativos. De acordo com a norma NP EN 14199 (2015) destinada a projetos de microestacas, o aço (varão) deve estar sob os requisitos da norma NP EN 10080 (2005). A norma portuguesa NP EN 10080 (2005) regula os varões que podem ser comumente utilizadas como elemento resistente nas microestacas TIPO 1<sup>1</sup>. Embora não mencione explicitamente o uso em microestacas, a norma em questão ainda menciona características geométricas de aços nervurados na seção 7.4.2 da referida norma e as propriedades mecânicas na seção 7.2.3, de modo geral ela estabelece um intervalo de diâmetro nominal dos varões de 4 a 50 mm e tensão de cedência superior ou igual a 500 MPa.

Por sua vez, a norma brasileira que define condições para uma armadura longitudinal sobre essa perspectiva é a ABNT NBR 7480 (2020), na tabela B.1 da referida norma os diâmetros nominais vão de 6,3 a 40 mm e a tensão de cedência do aço varia de 250 a 600 MPa, de acordo com a classe do aço CA-25, CA-50 e CA-60, respectivamente. Entretanto, é conveniente enfatizar as ponderações de Pereira (2012). O autor em questão comenta que pode ser utilizados varões de diâmetro 25 a 65 mm e tensões de cedência 400 e 500 MPa, estabelecendo assim conformidades com as normas: NP EN 10080 (2005), ABNT NBR 7480 (2020) e a norma americana ASTM A615 (2022) que ele utiliza como referência. É interessante pontuar que a Alemanha e Suíça, utilizam um sistema de rosqueamento que integra os varões

<sup>1</sup> A seção 2.2.4.1 explica detalhadamente a definição da microestaca TIPO 1 do FHWA (2005).

ao longo do comprimento chamado de varões GEWI<sup>2</sup> desenvolvido pela empresa alemã DYWIDAG (*Dyckerhoff & Widmann AG*), atualmente conhecida como *DYWIDAG Systems International* (DSI), que possuem alta resistência, mas momento de inércia reduzido, sendo não recomendado para condições com momentos fletores elevados. A Figura 2 demonstra um exemplo de varões nervurados que podem ser utilizados na composição estrutural.



Figura 2 - Varão nervurado. (Ferrolimiana, 2025)

As armaduras tubulares de alta resistência são as mais utilizadas em Portugal, geralmente possuem diâmetros que variam em torno de 80 a 200 mm de acordo com alguns autores, enquanto outros autores como Pereira (2012) menciona um intervalo de variação de 60,3 a 177,8 mm. A tensão de cedência típica se encontra na ordem de 560 MPa para a classe comercial N80, convém ressaltar que esse elemento de alta resistência é muito recomendado para microestacas à compressão, por proporcionar estabilidade a encurvadura em solicitações axiais. Elas são produzidas em segmentos de aproximadamente 4 metros com ligações macho-fêmea, como pode ser visualizado na Figura 3, permitindo a continuidade da microestaca. Em casos de momentos fletores ou esforços de tração é necessário recorrer a roscas externas para manter a resistência ao longo de todo o comprimento (Antunes, 2012; Teixeira, 2014 e Marques, 2016).



Figura 3 - Perfil Tubular. (Antunes, 2012)

O aço N80 mencionado acima, é padronizado pela norma americana *American Petroleum Institute* – API 5CT, utilizado especificamente para tubos de revestimento, produção e condução

---

<sup>2</sup> GEWI refere-se a palavra “*Gewindestäbe*” que significa “barras rosqueadas”.

em poços de petróleo e gás. Sendo assim, o aço tem requisitos de fabricação, controle metalúrgico e propriedades que não estão homologados nas normas europeias (Pereira, 2012 e Teixeira, 2014). De modo geral, as armaduras tubulares são classificadas nas normas europeias: NP EN 10210-2 (2019), NP EN 10219-2 (2019) e NP EN 10025 (2007). Nas duas primeiras normas, as informações podem ser obtidas no anexo B, tabela B.1 de acordo com as diretrizes das seções 5 e 6 das normas em questão, já que a sumarização delas é semelhante. No Brasil, existem algumas normas que são importantes para a classificação/verificação de aços tubulares, tem-se a norma ABNT NBR 7007 (2016) que aborda sobre os requisitos para aços microligados e ABNT NBR 8261 (2019) destinada para tubos de aço-carbono, com e sem solda para uso estrutural.

Existem alternativas para armadura tubular. Segundo Simões (2014) tem-se os perfis metálicos laminados a quente, como o HEB, que devem estar em conformidade com a NP EN 10025 (2007), de acordo com Teixeira (2014) e Antunes (2012) os perfis mais utilizados como elemento resistente em microestacas era HEB-120 e HEB-140 em alguns casos são usados HEB-200. Outra opção mencionada por Simões (2014) perfis metálicos laminados a frio que possuem uma espessura uniforme e proteção anticorrosão, entretanto o uso deste elemento deve ser verificado de acordo com a utilização estrutural da construção.

#### 2.2.3.2. Calda/Argamassa de cimento

A norma portuguesa NP EN 14199 (2015) define a calda de cimento como um ligante constituído pôr água e cimento, além de conter aditivos e uma quantidade limitada de agregados finos. Diante disso, a relação água e cimento – A/C é fundamental para a composição do material pois garante as características mecânicas e propriedades necessárias para sua funcionabilidade. Vale ressaltar que a qualidade dos recursos naturais, localização e até mesmo especificidades de projeto e obra faz com que alguns elementos influenciam na característica das caldas. No entanto é consensual que o ligante deve apresentar elevada plasticidade e fluidez, combinados com um baixo risco de segregação, por meio dos aditivos. Pode-se dizer que o aço das armaduras são responsáveis por conferir a resistência as estacas, enquanto cabe as caldas de cimento utilizadas no processo construtivo direcionar as cargas ao solo da fundação (Marques, 2016; Antunes, 2012; Pereira, 2012 e Silva 2010). A Figura 4 mostra uma calda de cimento durante a injeção.



Figura 4 - Calda de cimento. (Antunes, 2012)

O cimento e a água são principais componentes, sendo assim é essencial que eles apresentem as características necessárias e de acordo com as normas que estabelecem os parâmetros de controle. A água deve respeitar as diretrizes da norma portuguesa NP EN 1008 (2003), de acordo com Marques (2016) e Carvalho (2009) a água de rede pública geralmente apresenta os requisitos de atendimento pois evita a corrosão das armaduras. Sobre o cimento, o principal ponto a ser verificado e evitado é sua prévia hidratação devido a umidade. Sendo assim, é importante garantir um local de armazenamento adequado. Além disso, para melhorar as características do material por meio do uso de adjuvantes que reduzem a exsudação, retração e tempo de pega, ao mesmo tempo que melhoram a fluidez e durabilidade. Os mesmos autores mencionam que é sempre importante verificar as especificações, compatibilidade dos aditivos e estabelecer um controle de qualidade rigoroso de modo que a calda possa executar sua função de selagem sem graves problemas.

A FHWA (2005), NP EN 14199 (2015) e Pereira (2012) estabelecem alguns parâmetros que a calda deve respeitar para possuir a trabalhabilidade adequada. Primeiramente, a relação A/C deve ser inferior a 0,55 geralmente deve estar entre 0,4 e 0,5 para garantir uma fluidez durante a injeção e bombeamento, além de garantir uma resistência elevada. A água deve ser potável para evitar o risco de corrosão das armaduras, conforme já foi mencionado no decorrer do desse tópico. Os cimentos devem ser dos tipos CEM I ou CEM II e a resistência à compressão deve ser superior a 25 MPa. Em relação as normativas brasileiras, tem-se a norma ABNT NBR 7681-4 (2013) que determina uma resistência à compressão superior ou igual 30 MPa. Ressaltando que os valores usuais geralmente estão entre 28 MPa e 35 MPa, estando em conformidade com ambas as normas.

#### 2.2.4. CLASSIFICAÇÃO DAS MICROESTACAS

No Brasil, a classificação das microestacas são regidas pela ABNT NBR 6122 (2022), essa norma as considera uma fundação profunda executada por meio da injeção sob pressão de

uma calda de cimento ou argamassa de cimento/areia de modo a fornecer uma resistência lateral para o fuste, sendo assim essas estacas escavadas com injeção são subdivididas em estacas raiz e microestacas. Existem outras definições que estabelecem uma classificação para as microestacas, a FHWA (2000) baseia o sistema classificativo em dois critérios: filosofia de comportamento (*design* - projeto) – que aborda a tipologia voltada para o aspecto de projeto da microestaca, enquanto o método de injeção (construção) estabelece uma relação entre a capacidade de carga final e a ligação da injeção/solo. Essa definição permite uma organização ao classificar uma microestaca, pois a designação ou nomenclatura consiste em um número e uma letra, que correspondem ao projeto e a construção, respectivamente. Como pode ser observado na Figura 5, os tipos A, B e D recebem ainda uma subdivisão que pode ser visualizado em uma tabela de resumo das informações da classificação na seção 2.2.4.2 adiante.

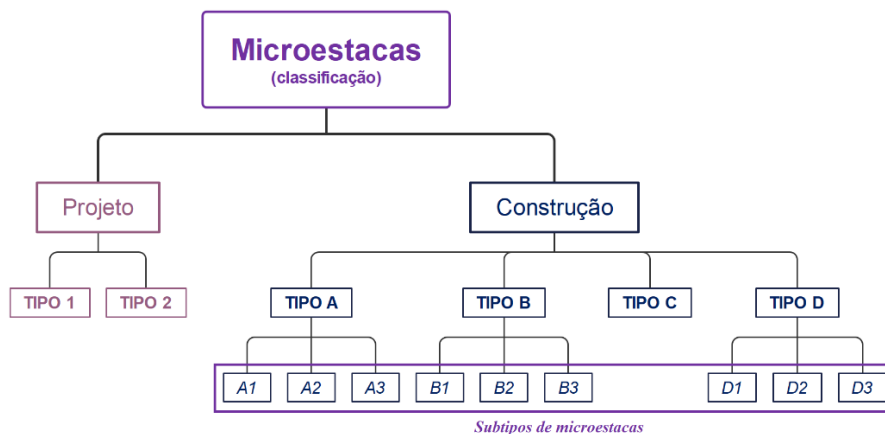


Figura 5 - Classificação da microestaca (Adaptado de FHWA, 2005).

#### 2.2.4.1. Classificação quanto ao projeto segundo a FHWA (2005)

Esta classificação utiliza números para divisão do tipo de microestaca, sendo a nomenclatura TIPO 1 e TIPO 2. As estacas do TIPO 1 são projetadas para apresentarem atuações individuais. Embora estacas em grupo possam ser descritas com essa classificação. O que denomina essa estaca é o seu carregamento, tais estacas são carregadas diretamente, com esforço axial (compressão ou tração) e/ou horizontal. A carga é resistida principalmente por uma estrutura reforçada de aço e por uma zona de adesão que desenvolve uma resistência lateral nas estacas individuais devido a mobilização tangencial entre o solo e argamassa que se desenvolve na raiz da microestaca. Além do mais, à estaca TIPO 1 promove uma transferência de carga das estruturas para um estrato mais estável e profundo, ela pode, portanto, ser uma alternativa para tipos mais convencionais de estacas (FHWA, 2005 e Bruce *et al.*, 1995). A Figura 6 demonstra um exemplo de aplicação do TIPO 1 para estabilidade de talude.

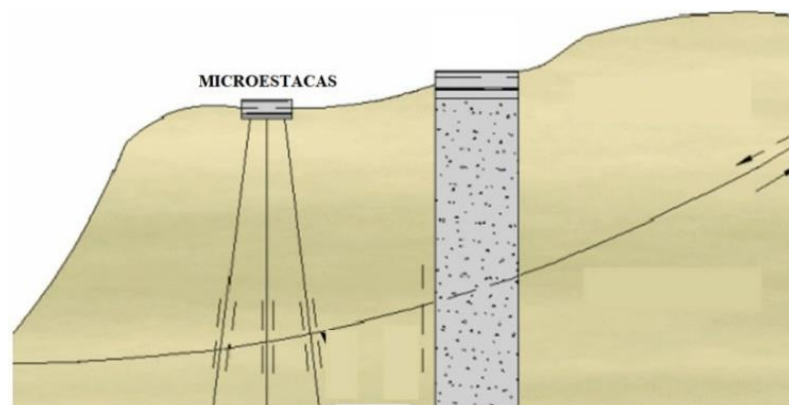


Figura 6 - Microestaca TIPO 1 não reticulada. (adaptado de FHWA, 2005)

Em alinhamento com a contextualização histórica na seção 2.2.1, os autores destacam que ao introduzir o conceito de microestacas em 1952, o Doutor Fernando Lizzi deu origem a um conceito de “*root pile*”, este nome remete a uma cadeia de estabilização tridimensional que descreve o pequeno grupo de estaca do TIPO 2. Esta rede de suporte se assemelha a raízes de árvores, onde as interligações são realizadas por meio de estacas reticuladas. Esse conceito permite a criação de uma estrutura solo/estaca que pode ser utilizada para recalçamento e estabilização. Diante do exposto, esse tipo de reforço é levemente armado por não precisar de ser carregada diretamente e individualmente, uma vez ao funcionar como uma malha, esta circunscreve uma região de material do solo confinada/reforçada e oferece uma resistência com o mínimo de movimento possível, isso é possível pelo fato de possuir aderência em todo seu comprimento. Como visto, esse tipo de estaca está em contraste com a estaca individual por aplicar a carga estrutural a massa de solo, conforme evidenciado nesse exemplo de contenção de solo pela Figura 7.

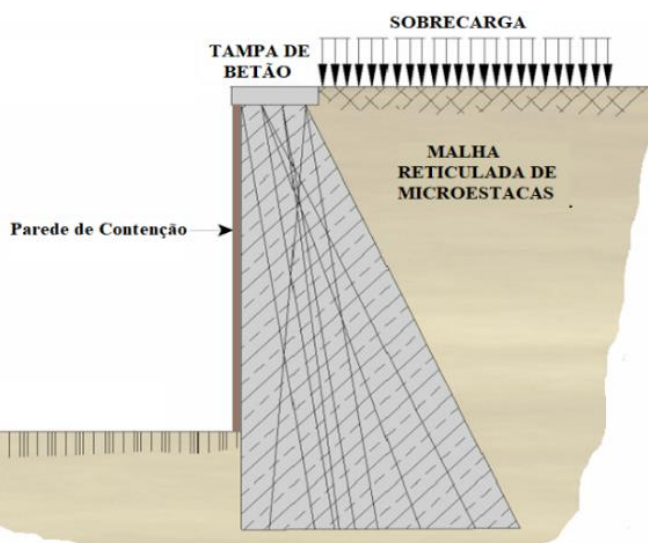


Figura 7 - Microestacas TIPO 2 estrutura reticulada. (adaptado de FHWA, 2005)

É interessante ressaltar que, embora a geometria dos elementos que compõem o TIPO 1 seja parecida com as do TIPO 2, a abordagem de comportamento e projeto são diferentes. Na prática, as estacas TIPO 1 são usualmente empregadas para suporte estrutural, dentre desse campo de função pode-se dizer que é utilizada para contenção estrutural de solos, reforços de fundações, estabilização prevenção de recalques, elevação da capacidade de carga das fundações, entre outras situações. Os elementos estruturais do TIPO 2 são empregadas para reforço “*in situ*” (reforço do solo), portanto visam a estabilização de taludes, encostas e contenção de terra em geral, além disso podem ser aplicadas para redução de recalques e estabilização estrutural (Marek e Muhunthan, 2005 e FHWA, 2005).

#### 2.2.4.2. Classificação quanto ao modelo de construção/selagem segundo a FWHA (2005)

De acordo com FHWA (2005), Caltrans *Geotechnical Manual* (2020) e o livro francês “*Synthèse des résultats et recommandations*” publicado pelo FOREVER (2005), essa classificação divide as microestacas a partir da designação de uma letra. Essa determinação parte da análise do método de aplicação da injeção de calda que é realizada no processo construtivo, influenciando diretamente na ligação calda/solo. Ressalta-se que essa etapa é ainda, subdividida em classes que é definida por meio do uso de revestimento de perfuração e reforço.

As microestacas do TIPO A são escavadas e suas bases podem ser alargadas de modo a aumentar a capacidade/desempenho da tração, a calda é aplicada por meio da força da gravidade, e como a coluna da estaca é a única a não ser pressurizada, o material a ser utilizado como calda pode ser uma argamassa de cimento-areia ou calda de cimento simples. Nos elementos que compõem o TIPO B a calda de cimento é pura, ou seja, composta exclusivamente por cimento e água, sem adição de areia ou outros agregados. Essa composição visa garantir maior fluidez e compatibilidade com a injeção sob pressão controlada. À medida que a aplicação do material cimentício é injetada, o trado ou o revestimento temporário do furo é retirado, as pressões de injeção variam entre 0,5 e 1,0 MPa para manter um selo de revestimento durante a retirada e evitar pressões de fratura hidráulica e consumo excessivo de calda de cimento.

As microestacas do TIPO C e D possuem duas etapas no processo. A primeira etapa é bem parecida nas duas, consiste na injeção da calda de cimento puro por meio da gravidade, entretanto no TIPO D pode ser pressurizado, após a cura<sup>3</sup> da calda primária, tem-se a injeção

---

<sup>3</sup> TIPO C: O tempo de aplicação da segunda camada de calda deve ser entre 15 e 25 minutos depois, e antes do da primeira calda endurecer.

TIPO D: A segunda camada de calda é aplicada após o endurecimento da primeira.

de uma calda adicional secundária por um tubo com manga, no TIPO D pode ser utilizado um obturador (*packer*) dentro do tubo para que horizontes específicos possam ser tratados. Outra diferença entre as designações é a pressão da injeção para a calda adicional, enquanto no TIPO C tem-se pelo menos 1 MPa, no TIPO D varia de 2 a 8 MPa. De acordo com Bruce (2004) e FOREVER (2005), a aplicação do TIPO C é empregada mais frequentemente na França conhecido como IGU (*Injection Globale et Unitaire*). Por sua vez, o TIPO D é difundida em todo o mundo e na França recebe o nome de IRS (*Injection Répétitive et Sélective*). A Figura 8 mostra todos os tipos de classificação que consideram o processo construtivo/selagem.

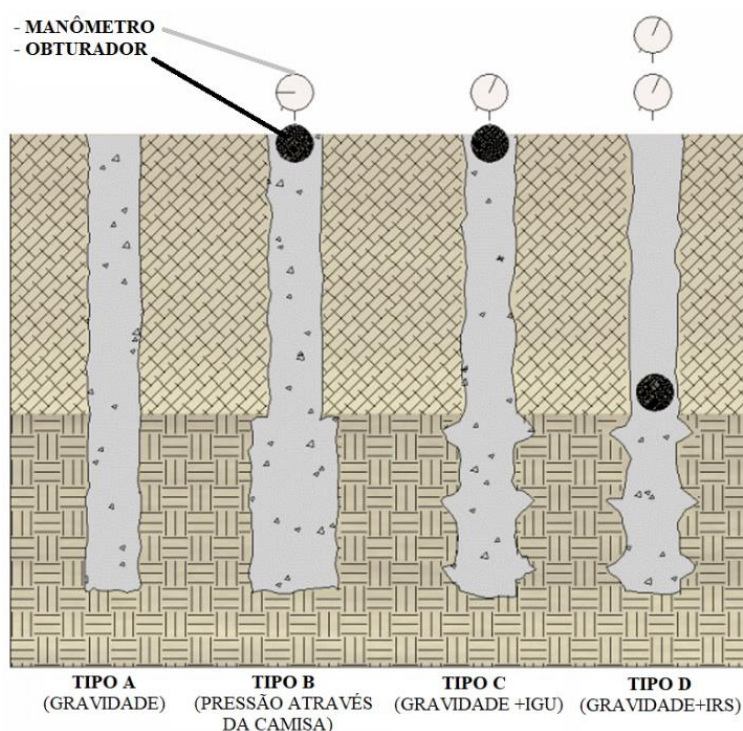


Figura 8 - Microestacas TIPO A, B, C e D. (adaptado de FHWA, 2005)

O Quadro 2 permite compreender melhor a classificação realizada pela FHWA (2005) por meio de uma relação entre as aplicações e classificações das microestacas. Vale destacar que a seção 2.2.5 aborda especificamente sobre aplicações do elemento.

Quadro 2 – Breve exposição das aplicações das microestacas de acordo com a classificação. (FHWA, 2005)

INFORMAÇÃO	SUPORTE ESTRUTURAL	REFORÇO DO SOLO		
Aplicação	Reforço de fundações existentes, novas fundações e retrofit sísmico	Estabilização de taludes e contenção de solos	Reforço do solo	Redução de recalques
Comportamento de Projeto ( <i>Design</i> )	TIPO 1	TIPO 1 TIPO 2	TIPO 2 TIPO 1 (influência menor)	TIPO 2
Tipo de Construção	Tipo A (zonas de ligação em rocha ou argilas rígidas); Tipos B, C e D em solos	Tipos A e B em solo	Tipos A e B em solo	Tipo A em solo

O Quadro 3 mostra as subdivisões dos quatro principais tipos de estacas mencionados acima proposta por Pearlman e Wolock (1992) *in* FHWA (2005).

Quadro 3 - Subtipos de microestacas. (FHWA, 2005)

Tipo de Microestaca	Subtipo	Revestimento de Perfuração	Armadura	Injeção de Calda de Cimento
<b>Tipo A</b>				
<b>Injeção por gravidade</b>	A1	Temporário ou sem revestimento (furo aberto ou trado helicoidal)	Nenhuma, barra simples, gaiola, tubo ou perfil estrutural	Argamassa de cimento/areia ou calda de cimento simples injetada até a base do furo (ou revestimento), <b>sem pressão</b> aplicada
	A2	Permanente, comprimento total	O próprio revestimento atua como armadura	Idem A1
	A3	Permanente, apenas no trecho superior	Revestimento no trecho superior; barras ou tubos no trecho inferior (podem se estender por todo o comprimento)	Idem A1
<b>Tipo B</b>				
<b>Injeção sob pressão pelo revestimento ou trado durante a retirada</b>	B1	Temporário ou sem revestimento (furo aberto ou trado helicoidal)	Monobarras ou tubo (gaiolas são raras devido à baixa capacidade estrutural)	Calda de cimento simples inicialmente tremida; pressão <b>(até 1 MPa ou 145 psi)</b> aplicada durante a retirada do revestimento/trado
	B2	Permanente, comprimento parcial	O próprio revestimento atua como armadura	Idem B1
	B3	Permanente, apenas no trecho superior	Revestimento no trecho superior; barras ou tubos no inferior (podem se estender por todo o comprimento)	Idem B1
<b>Tipo C</b>				
<b>Injeção primária por gravidade (Tipo A), seguida de injeção secundária sob pressão global</b>	C1	Temporário ou sem revestimento (furo aberto ou trado helicoidal)	Barras simples ou tubo (gaiolas raras)	Calda de cimento simples inicialmente tremida; <b>15 a 25 min após</b> , nova injeção similar é feita por tubo ou armadura, <b>com pressão superior a 1 MPa</b>
	C2	Não realizado	–	–
	C3	Não realizado	–	–
<b>Tipo D</b>				
<b>Injeção primária (Tipo A ou B), seguida de uma ou mais injeções secundárias sob pressão global</b>	D1	Temporário ou sem revestimento (furo aberto ou trado helicoidal)	Barras simples ou tubo (gaiolas raras)	Primeira injeção como Tipo A ou B; após algumas horas, nova injeção é feita sob pressão por tubos com luvas ou mangotes (packer), <b>quantas vezes forem necessárias</b>
	D2	Somente se for necessário reencher o revestimento completo	O próprio revestimento atua como armadura	Idem D1
	D3	Permanente, apenas no trecho superior	Revestimento no trecho superior; barras ou tubos no inferior (podem se estender por todo o comprimento)	Idem D1

#### 2.2.4.3. Classificação de acordo com o Ministério de Fomento (2005)

O guia do Ministério de Fomento (2005) denominado “*Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera*”, estabelece uma classificação, na qual é descrito 3 divisões de microestacas. A primeira é semelhante ao abordado pelo FHWA (2005),

condiciona os elementos por meio da transmissão do esforço ao terreno, nesse as microestacas podem ser subdivididas em:

- Individual (semelhante ao TIPO 1);
- Em grupo (semelhante ao TIPO 2).

O segundo critério de divisão leva em consideração o tipo de solicitação dominante que o elemento está submetido, portanto podem ser:

- Esforços axiais de compressão ou tração – geralmente aplicados em obras de fundação;
- Esforços de corte e momentos fletores – normalmente introduzidas em obras de estabilização de taludes e contenções de terras.

Por fim, o último critério utiliza como base de classificação o tipo de injeção da calda de cimento, diante disso, podem ser subdivididos em 3 tipos:

- Injeção Única Global – IGU;
- Injeção Repetitiva – IR;
- Injeção Repetitiva Seletiva – IRS.

#### 2.2.4.3.1. *Injeção Prévia*

Esse tipo de injeção é destacado no livro, como independente dos outros métodos, mas pode ser utilizada em conjunto. Esse processo é utilizado quando se tem uma previsão de altas perdas de injeção na ordem de 2,5 a 3 vezes do volume teórico de injeção. Ressaltando que é necessário perfurar novamente para continuar a execução de microestaca (Ministério de Fomento, 2005).

#### 2.2.4.3.2. *Injeção Global Única – IGU*

A IGU é executada em uma única fase, preenche todo o espaço vazio presente entre a armadura tubular e a perfuração, incluindo seu interior. O processo de injeção deve ser desde a ponta até a cabeça da microestaca e pode ser realizado de duas maneiras. A primeiro modo de injeção é através de um tubo de plástico que passa por dentro da armadura tubular e é colocado até o fundo da perfuração, nesse caso só é possível injetar calda líquida devido ao pequeno diâmetro da armadura tubular. O segundo modo é injetar a calda diretamente no furo preenchendo todos os espaços vazios. É interessante ponderar que, em alguns casos, quando a calda de cimento tem seu nível diminuído devido a penetração no solo, pode ser viável reinjetar para evitar espaços vazios (Ministério de Fomento, 2005). A Figura 9 demonstra a concepção da metodologia explicada.

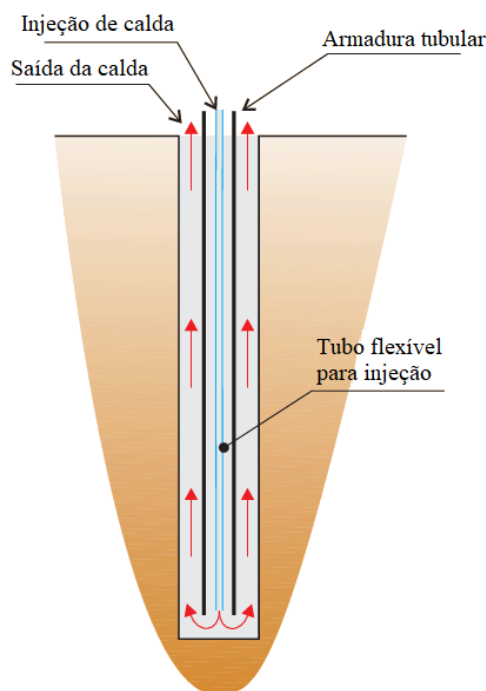


Figura 9 - Injeção global única – IGU. (Ministério de Fomento, 2005)

Bustamante e Doix (1985) destacam em seu artigo “*Une méthode pour le calcul des tirants et des micropieux injectés*” que a pressão de injeção global única  $P_i$  deve ser superior ou igual a metade da pressão limite do solo  $P_{limite}$  e inferior a própria pressão, assim como o livro do Ministério de Fomento (2005) também compartilha a mesma informação. Sendo assim, deve-se respeitar o intervalo:

- Para IGU:  $0,5 \cdot P_{limite} \leq P_i \leq P_{limite}$ , o livro ainda menciona que em alguns casos é critério prático fixar um intervalo de 0,5 MPa até 1 MPa se os limites não ultrapassarem os limites do solo, assim como é enfatizado pela FHWA (2005) como recomendação para o TIPO B.

O documento FOREVER (2005) apresenta um conceito um pouco diferente em relação ao apresentado. A calda de preenchimento – calda de bainha – é colocada por meio do método gravitacional, enquanto a microestaca é equipada com um tubo com 3 ou 4 manchetes imersas na calda em questão. Antes que a calda adquira uma resistência significativa a tração é injetada uma calda complementar. A pressão de injeção deve ser comparável com a pressão limite do solo. A mesma referência reforça a importância da segunda fase da injeção, ao comentar que ela favorece o assentamento da calda, e conseqüentemente evita uma formação tubular vazia no caminho da calda. É destacado ainda, que o método não é aplicável em terrenos rochosos devido a impossibilidade/dificuldade de romper as manchetes.

### 2.2.4.3.3. Injeção Repetitiva – IR

Esse método de injeção é descrito apenas no Ministério de Fomento (2005) e é dividido em duas fases de injeção. Na primeira fase, é introduzida a armadura e o preenchimento é realizado do mesmo modo que a IGU. Na segunda fase acontece uma reinjeção que pode ser executada de 3 métodos diferentes: através da própria armadura tubular, por meio de um tubo ou circuito com válvulas de retenção de efeito simultâneo (também conhecido como tubos *machettes*) e por último, por meio de condutos de diferentes comprimentos que alcançam níveis variados colocados do lado de fora da armadura. A Figura 10 demonstra as alternativas da segunda fase de injeção.

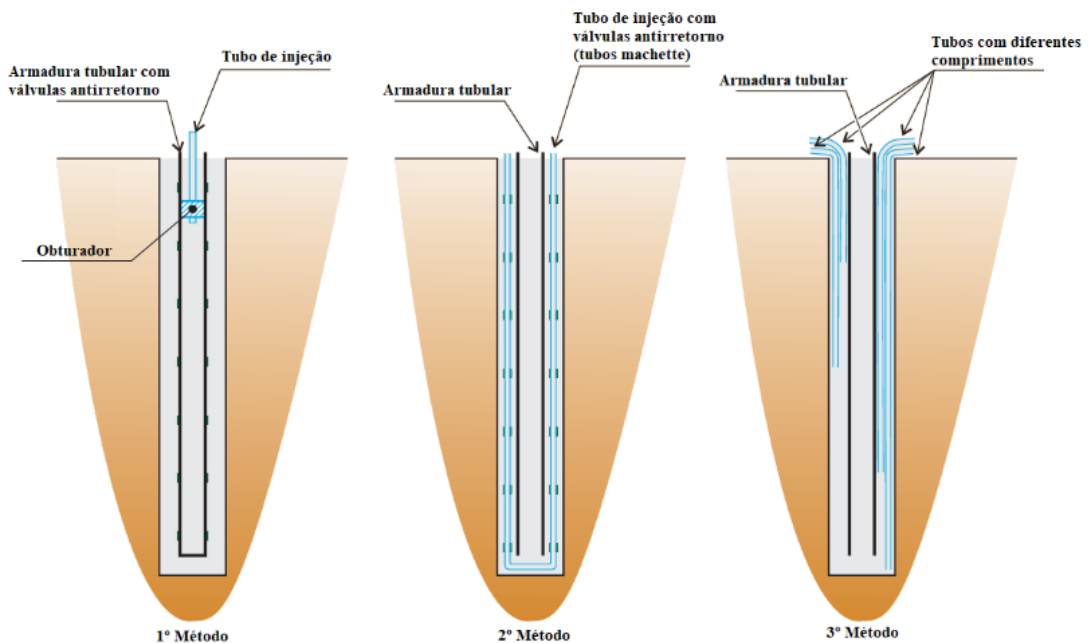


Figura 10 - Diferentes métodos de execução da segunda fase de IR. (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005)

Ao final da última injeção, a pressão do furo deve respeitar a pressão limite do terreno, ou seja, deve respeitar os mesmos critérios estabelecidos para a IGU. Para finalizar o processo é necessária uma injeção final para o preenchimento interno da armadura tubular. O livro FOREVER (2005) menciona que o 2º Método de aplicação da Figura 10 é descrito como uma alternativa ao IRS convencional, adequada a uma configuração logística e operacional específica e denomina como Injeção Repetitiva Simultânea. Essa técnica consiste em realizar um laço hidráulico na base da microestaca, utilizando um tubo de pequeno diâmetro (cerca de 1 cm), cujas duas extremidades emergem na superfície. Essa configuração permite uma melhor uniformidade da injeção.

#### 2.2.4.3.4. Injeção Repetitiva Seletiva – IRS

De acordo com FOREVER (2005) este método deriva diretamente das tecnologias de injeção em solos coesivos, onde a microestaca é equipada com um tubo de válvulas (*manchettes*), selado dentro da calda de preenchimento – calda de bainha – por meio de uma injeção de selagem. Além disso, tem-se a presença de obturador duplo que permite escolher uma válvula específica para efetuar a injeção em um determinado nível. Após endurecimento da calda de preenchimento, é realizada uma injeção de calda adicional sob alta pressão que rompe a calda endurecida, processo conhecido como “*claquage*”. Bustamante e Doix (1985) também estabelecem alguns critérios, que são reforçados pelo Ministério de Fomento (2005), para a pressão de injeção com base nos valores obtidos pelos ensaios pressiométricos:

- Para IRS:  $P_{limite} \leq P_i$ , para esse caso tem-se um limite que pode considerar a pressão limite do solo menor ou igual que a pressão de injeção.

Conforme os autores destacam, é possível realizar o processo de injeção várias vezes dependendo da capacidade de absorção da calda pelo solo. Essas reinjeções aumentam a pressão lateral do solo e conseqüentemente, ao aumento do atrito lateral. Em solos granulares, é possível observar a formação de um “bulbo” com diâmetro maior que o diâmetro de furo da microestaca, análogo ao bulbo de tensões de uma estaca Franki, do ponto de vista geométrico e não construtivo. Após a conclusão destes processos, é realizado um preenchimento no interior da armadura tubular por meio de uma injeção final. A Figura 11 demonstra esquematicamente o processo de injeção repetitiva seletiva.

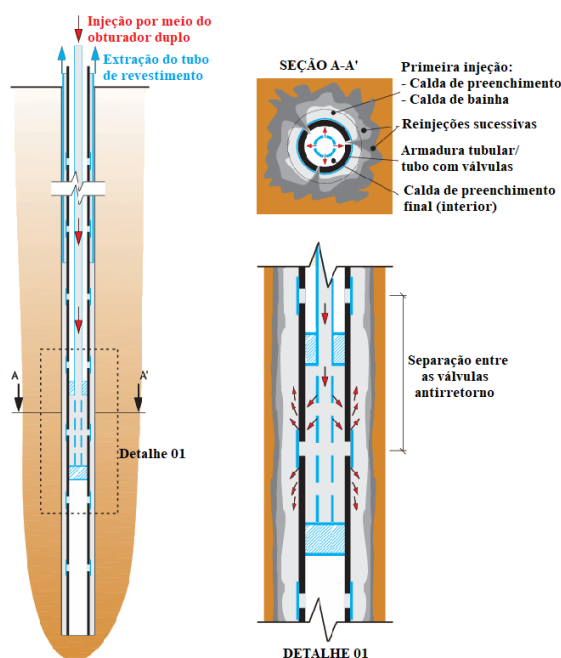


Figura 11 - Injeção repetitiva seletiva - IRS. (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005)

## 2.2.5. APLICAÇÃO DE MICROESTACAS

As microestacas são aplicáveis em várias situações, isso pôde ser evidenciado no Quadro 2 da seção 2.2.4.2 referente a sua classificação, sendo assim por ser um elemento de solução muito versátil é muito utilizada em obras estruturais, especialmente fundações e infraestrutura. Para demonstrar sua eficiência e versatilidade, tem-se como exemplos de aplicação, reforço de fundação, estruturas de contenção, estabilização de taludes/encostas e pode ser usada para garantir melhorias do solo de suporte (Ministério de Fomento, 2005 e FHWA, 2005).

### 2.2.5.1. Estrutura de Fundações (Reforço e Recalçamento)

Nas fundações existem diferentes cenários para aplicar as microestacas, em novas construções/estruturas e para reforço/recalçamento de fundações de um edifício ou infraestrutura existente. Em novas construções, o uso desses elementos ocorre em locais com espaço de trabalho limitado ou em terreno com acesso difícil, estes geralmente apresentam níveis rochosos intercalados (blocos ou rochas de grandes dimensões). Sendo assim, a microestaca oferece uma vantagem por transferir uma carga menos concentrada e mais uniforme em relação as estacas convencionais. Além disso, ainda no âmbito da infraestrutura, conforme mencionado, os elementos podem ser empregados para reforço e recalçamento de fundações existentes, nesse aspecto o edifício provavelmente passou/passará a suportar mais cargas do que o usual, ou se patologias geotécnicas necessitaram intervenção de reparo infraestrutural (Ministério de Fomento, 2005).

De acordo com Pereira (2012), FHWA (2005) e FOREVER (2005) existem inúmeras soluções que podem ser aplicadas para as fundações superficiais. Na Figura 12 pode-se notar a aplicação das Microestacas. Na primeira solução (a), percebe-se que ela é executada diretamente em uma fundação já existente, nesse processo é realizado um furo na fundação em questão, após a aplicação do elemento de reforço é colocado uma calda de cimento formando uma ligação selada. Quando é desejado uma distribuição uniforme das cargas no solo, o alargamento da fundação torna-se viável, conforme pode ser observado nas soluções (b) e (c), esse alargamento pode ser acompanhado ou não de uma sobreposição. Nesse caso o aumento da altura da sapata (se tiver uma sobreposição) aumenta a resistência a flexão, corte e ao punçoamento, além de garantir uma amarração das estacas, a solução (d) mostra a concepção da microestaca com a fundação existente.

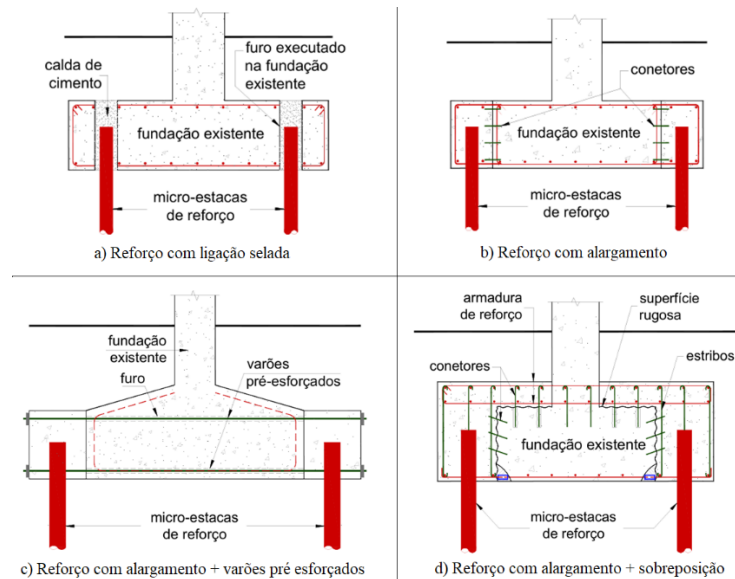


Figura 12 - Reforço de fundações superficiais. (Pereira, 2012)

Jamp (2002), citado na dissertação de Pereira (2012) demonstra duas ideias, conforme pode ser visto na Figura 13. A primeira trata-se de um reforço com alargamento e recalçamento (a) e outra de reforço com alargamento e sobreposição (b), em fundações profundas de viadutos, para esse tipo de infraestrutura geralmente também é realizado o alargamento da fundação com sobreposição, justamente para aumentar as resistências, como mencionado acima. Sendo assim, as microestacas de reforço são aplicadas nas zonas alargadas da fundação. O processo é semelhante com o das fundações superficiais.

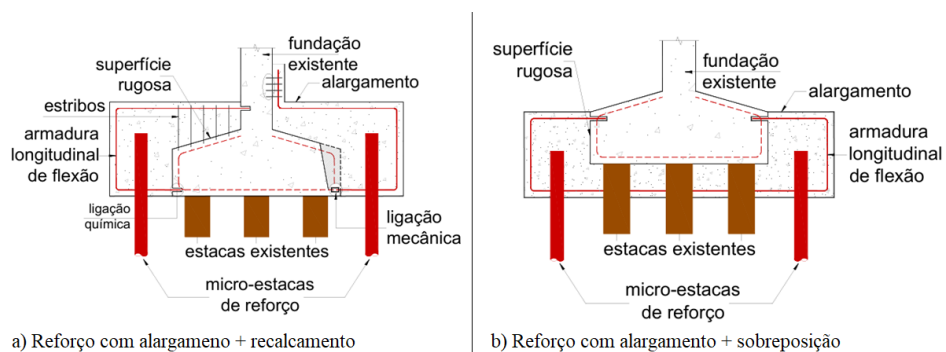


Figura 13 - Reforço e recalçamento de fundações profundas. (Pereira, 2012)

Vale ressaltar que o reforço de uma fundação é aplicado quando se tem a intenção de aumentar a capacidade de carga da fundação sem ocasionar alterações no seu posicionamento do solo, isso tem como objetivo adaptar a fundação a receber novos carregamento que surgiram devido uma modificação funcional no uso da edificação. Já o recalçamento aparece como um método para direcionar os esforços, que uma estrutura sob má conservação recebe, para uma nova estrutura auxiliar, ou em certos casos podem ocorrer a substituição total de uma fundação

devido a problemas patológicos relacionados principalmente por alterações geotécnicas do solo. (Lehtonen, 2004). A Tabela 1 mostra um resumo dos conceitos comentados.

Tabela 1 - Resumo dos conceitos sobre Recalçamento e Reforço.

Característica	Recalçamento	Reforço
<b>Definição</b>	Processo de substituição ou complementação dos elementos de fundação, geralmente devido a falhas estruturais ou assentamentos diferenciais.	Técnica utilizada para aumentar a capacidade de carga de uma fundação existente, sem necessariamente substituir seus elementos.
<b>Objetivo Principal</b>	Corrigir falhas estruturais graves, como recalques excessivos, instabilidade ou deterioração da fundação original.	Melhorar o desempenho da fundação existente para suportar novas cargas, como ampliações ou mudanças de uso da edificação.
<b>Métodos Aplicáveis</b>	Substituição da fundação, uso de novas estacas, introdução de sapatas complementares, injeção de calda de cimento (jet grouting), entre outros.	Introdução de microestacas, injeção de calda de cimento, aumento da área de contato da fundação, reforço com estacas raiz, entre outros.
<b>Quando é necessário?</b>	Quando a fundação original apresenta falhas estruturais significativas que comprometem a segurança da edificação.	Quando há necessidade de aumentar a capacidade de carga da fundação sem remover sua estrutura original.
<b>Exemplo de aplicação</b>	Recuperação de uma fundação danificada por recalque diferencial severo.	Adição de microestacas para suportar um novo pavimento em um edifício existente.

#### 2.2.5.2. Outras Aplicações

Além do reforço de fundação de edifícios as microestacas podem ser empregadas em várias outras subáreas da engenharia civil. Os elementos podem ser utilizados em Estruturas de Contenção ou Sustentação do Terreno, nesse caso, as microestacas geralmente são organizadas em alinhamentos ou em grupos extensos com diferentes inclinações. Na extremidade superior, são fixadas e complementadas com ancoragens ou outros elementos estruturais. Podem ser instaladas em um único plano, normalmente vertical, ou configuradas em formato de leque. Em uma outra ocasião, podem ser empregadas para Estabilização de Taludes/Encostas, para estabilização, as microestacas podem ser dispostas em grupos extensos ou alinhamentos com inclinações variadas. No topo, elas são ancoradas e frequentemente acompanhadas por outros elementos estruturais, como ancoragens. Esse tipo de intervenção contribui para melhorar o coeficiente de segurança global dos taludes ou encostas, devido ao aumento da resistência ao cisalhamento (Ministério de Fomento, 2005).

O mesmo autor destaca outras aplicações relevantes, as microestacas podem ser utilizadas como Suporte Temporário ou Permanente do solo em escavações de obras especiais como os túneis, principalmente antes do avanço das obras. Podem ser aplicados de forma abrangente em toda a extensão do túnel ou em áreas específicas, como entradas ou regiões de maior

complexidade técnica. Por fim, os elementos estruturais de reforço em questão podem ser utilizados na Melhoria do Solo/Terreno, o objetivo principal é melhorar a capacidade de suporte do solo e diminuir os recalques das estruturas que serão construídas sobre ele, garantindo maior estabilidade e desempenho. A Figura 14 demonstra as aplicações em questão, separando-as em letras.

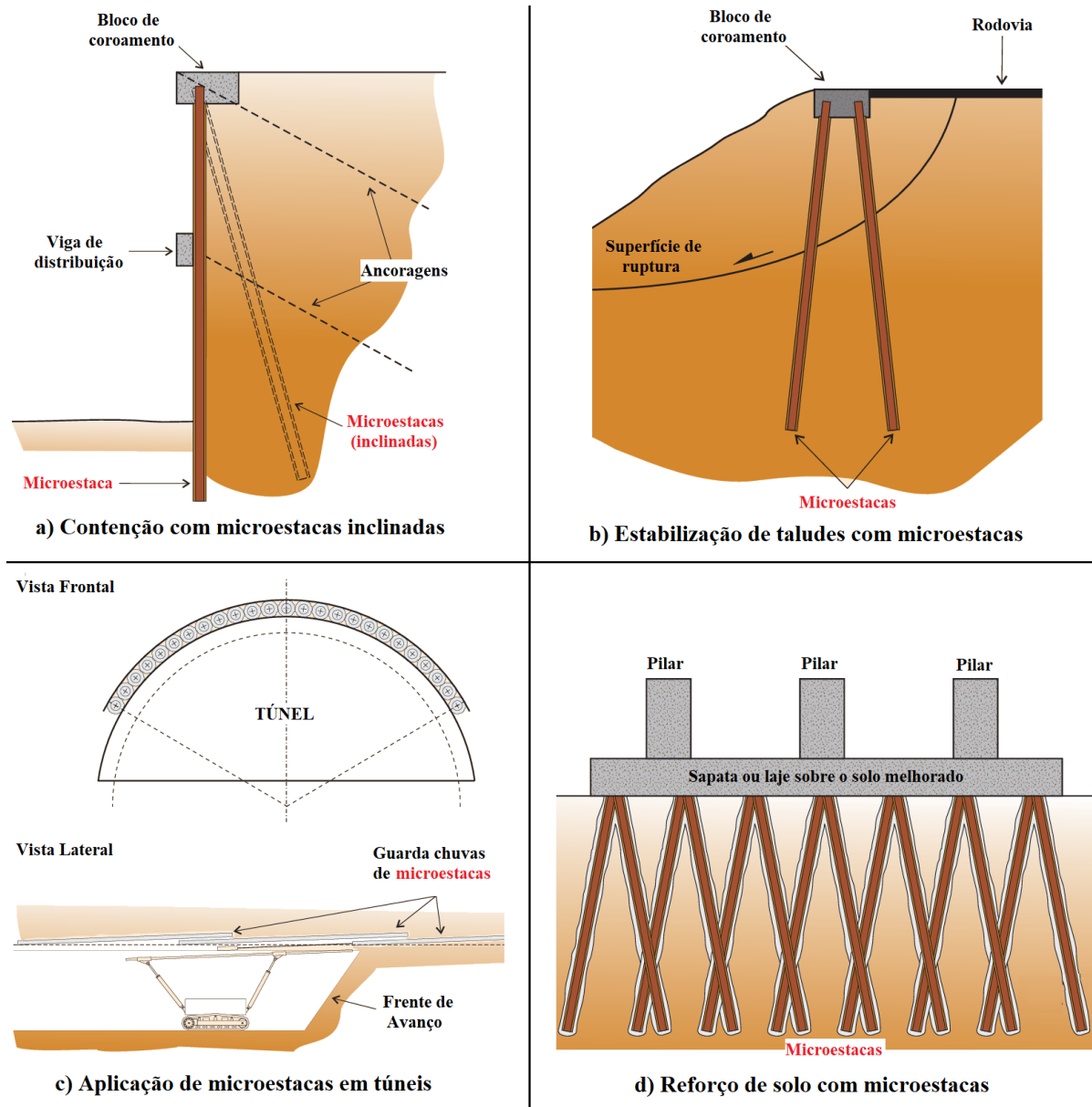


Figura 14 - Outras aplicações da microestaca. (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005)

## 2.2.6. PROCESSO CONSTRUTIVO E IMPLEMENTAÇÃO

O processo de construção das microestacas compreende um conjunto de operações sequenciais que pretendem garantir a correta instalação do elemento estrutural no terreno, assegurando sua integridade, aderência e desempenho previsto em projeto. Com base nas diretrizes da norma portuguesa NP EN 14199 (2015), o processo executivo pode ser dividido

em algumas fases principais: perfuração, instalação da armadura, injeção da calda e por fim a ligação na estrutura. Cada etapa deve ser acompanhada por procedimentos rigorosos de controle de qualidade e garantir a conformidade com os requisitos normativos e de projeto, segundo FHWA (2005) e Ministério de Fomento (2005) e elas podem ser visualizadas na Figura 15.

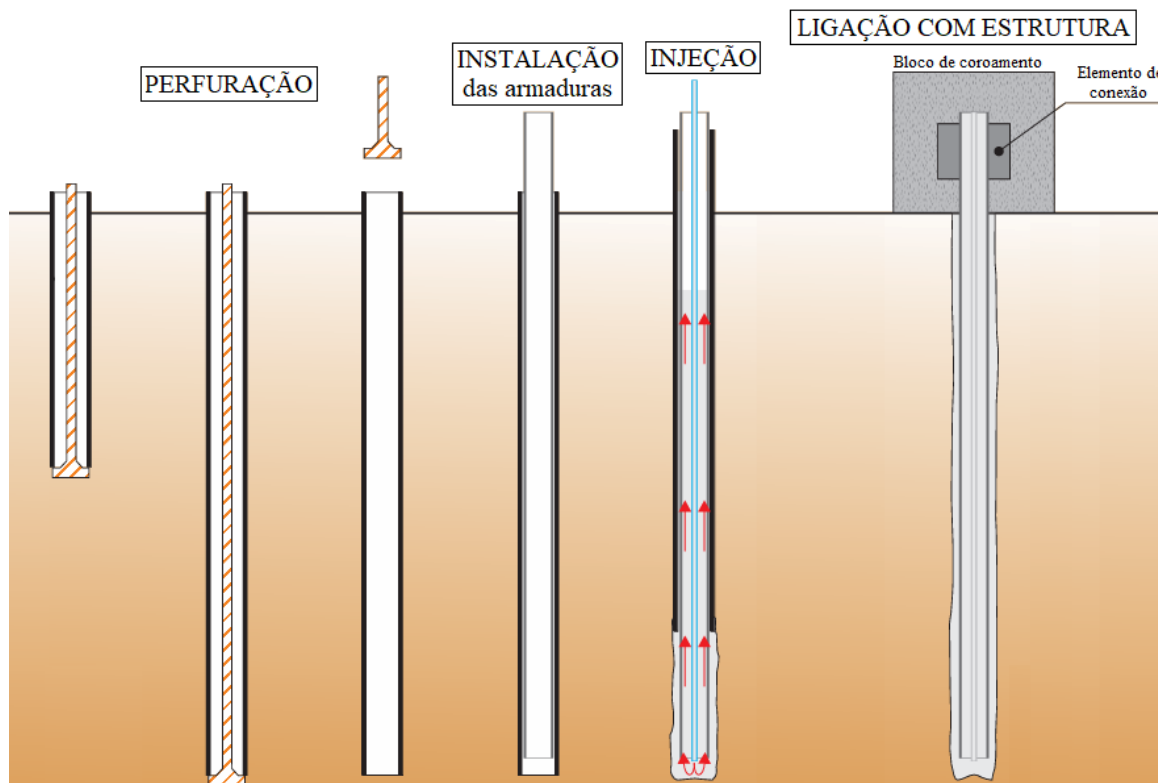


Figura 15 - Processo construtivo das microestacas verticais. (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005).

#### 2.2.6.1. Perfuração do local da microestaca

De acordo com o Ministério de Fomento (2005) e FHWA (2005), esta é uma etapa muito crítica da execução da microestaca. O processo de perfuração deve ser cuidadosamente selecionado de acordo com as condições do terreno, as restrições da localização da obra, e deve ser rigorosamente fiel as características geométricas do projeto, respeitando posições, profundidades, inclinações e diâmetros indicados, para que possa garantir toda a proteção/recobrimento da armadura tubular. A Tabela 2 indica os valores usuais que podem garantir as exigências mencionadas. A FHWA (2005) enfatiza que os cuidados com a execução devem ser redobrados não somente para estabelecer o objetivo do projeto, mas também em ambientes urbanos é essencial atenção às fundações de construções adjacentes.

Tabela 2 - Diâmetros de perfuração, revestimento e armadura tubular mais usuais. (Ministério de Fomento, 2005)

Diâmetro de perfuração (mm)	Diâmetro do tubo de revestimento (mm)	Diâmetro da armadura tubular (mm)
120	114,3	60,3 - 73,0
140	133	60,3 - 73,0 - 88,9
160	152,4	73,0 - 88,9 - 101,6
185	177,8	88,9 - 101,6 - 114,3 - 127,0
200	193,7	101,6 - 114,3 - 127,0 - 139,0
225	219,1	114,3 - 127,0 - 139,0 - 168,3

Ainda no âmbito de manter os cuidados na execução, o Ministério de Fomento (2005) destaca a importância de minimizar os distúrbios. Para a eficiência das precauções, é recomendado utilizar maquinários de rotação, roto-percussão ou sistemas combinados. O documento destaca alguns critérios de tolerância que devem ser atendidos: como, desvios máximos de 50 mm da posição do eixo da boca do furo, variação inferior a 2 mm no diâmetro nominal, tolerância máxima de 20 cm no comprimento e desvio de inclinação inferior a 2°. Além dessas tolerâncias o autor ainda pondera, evitar a execução consecutiva de microestacas muito próximas, deve possuir um espaçamento temporal mínimo de 24 horas em fundações isoladas, visando minimizar riscos de instabilidade. A Figura 16 demonstra outros métodos de perfuração que são tratados no documento da FHWA (2005).

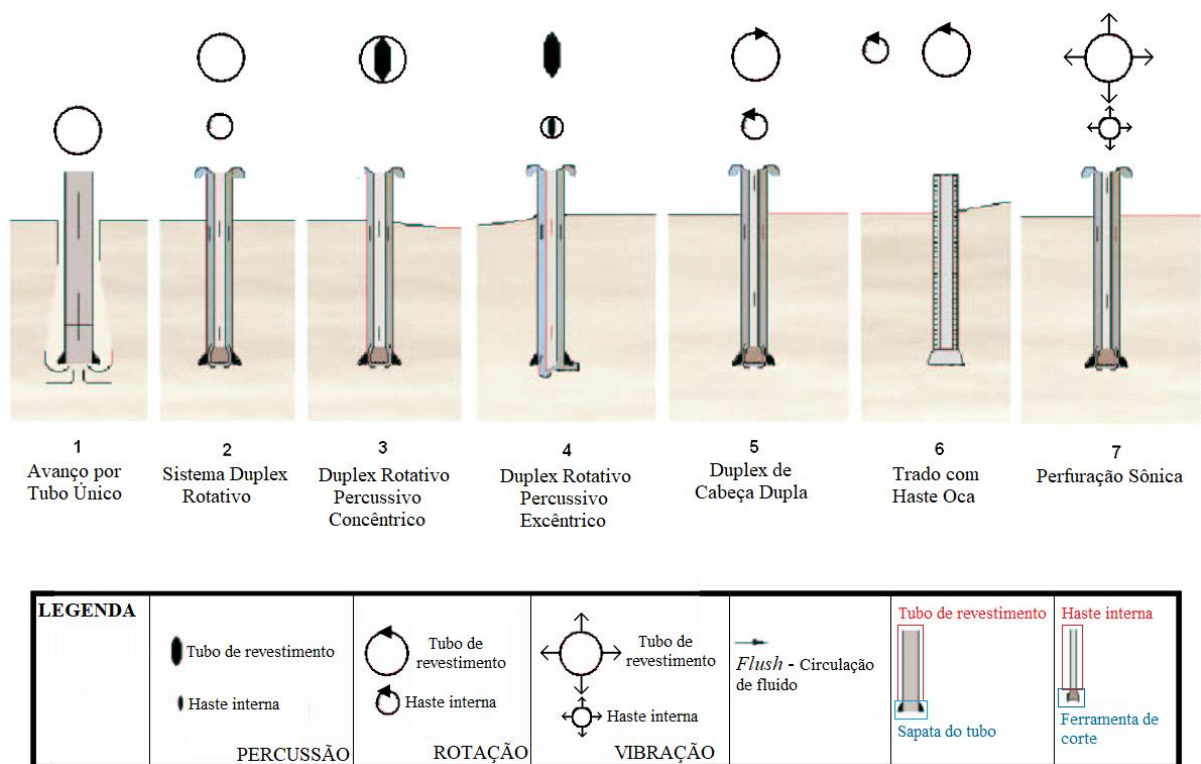


Figura 16 - Outros métodos de perfuração (Adaptado de FHWA, 2005).

#### 2.2.6.2. Instalação da armadura tubular e varão nervurado

Conforme é destacado pelo FHWA (2005) o furo recém executado não deve permanecer muito tempo aberto devido ao risco de desmoronamento, principalmente em solos mais sensíveis como argila sobreconsolidada. Sendo assim o Ministério de Fomento (2005) descreve que a instalação da armadura deve ser realizada o mais rápido possível e obviamente o furo não deve apresentar obstruções ou qualquer outra situação que possa comprometer a colocação da armadura. Se tudo estiver de acordo com as diretrizes de controle de qualidade, a armadura tubular deve ser colocada sem a remoção dos centralizadores e manguitos. É recomendado o uso de pelo menos 2 centralizadores, e cada 3 metros do comprimento eles devem ser instalados para garantir o cobrimento mínimo necessário de proteção contra a corrosão do aço tubular. Após isso os varões nervurados adicionais são também são posicionados. O processo de colocação da armadura deve ser finalizado deixando-a pelo menos 10 cm acima do fundo do furo para garantir a injeção da base.

#### 2.2.6.3. Injeção da calda de cimento

Novamente o FHWA (2005) enfatiza a agilidade no processo de injeção devido a possível instabilidade do furo. Vale ressaltar que nessas 3 etapas devem ser realizados da maneira contínua e eficiente. Essa etapa é crucial para assegurar a integridade estrutural e capacidade de carga da microestaca. O Ministério de Fomento (2005) comenta que pode ser utilizada a calda de cimento ou argamassa de cimento, a FHWA (2005) complementa ainda que a calda deve apresentar A/C conforme as normas mencionadas na seção 2.2.3.2 de materiais. De acordo com os autores, essa fase de execução visa garantir a constituição do fuste e da ponta, preencher a parte interna da armadura tubular e protegê-la contra a corrosão. O livro ainda pondera que o tempo máximo em que essas 3 fases (perfuração, instalação da armadura e injeção) deve ser no máximo de 24 horas. Os parâmetros de injeção, pressão, características/condições de terreno e classificação das microestacas se dividem em dois pontos de vista. O primeiro da FHWA (2005) que foi descrito na seção 2.2.4.1 e 2.2.4.2. O segundo do Ministério de Fomento (2005) que foi abordado na seção 2.2.4.3.

#### 2.2.6.4. Ligação com a estrutura

A ligação/conexão da microestaca com a estrutura pode ser em uma estrutura pré-existente ou uma conexão com outras microestacas por meio de um bloco de coroamento ou viga de ligação. Para a primeira situação é necessário realizar um furo na fundação – sapata ou

bloco – e executar a microestaca. Convém destacar que para garantir um contato efetivo entre as superfícies deve-se eliminar a calda remanescente da zona de contato com jato de areia, por ser um material retrátil. Quando os novos blocos de coroamento forem construídos o local deve estar limpo e com conectores de acordo com o projeto e conforme as especificações normativas (Ministério de Fomento, 2005).

### 3. MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO

Os processos construtivos das microestacas devem obedecer aos parâmetros e condições definidos em projeto, de modo a garantir a segurança e a funcionalidade da solução proposta. As características geométricas e os dados geomecânicos associados a essas fundações são determinados por meio de métodos específicos de dimensionamento geotécnico e estrutural, sendo imprescindível que os valores adotados estejam em conformidade com as exigências normativas vigentes. Nesta seção, serão apresentados e discutidos alguns dos métodos utilizados para a estimativa da capacidade de carga estrutural e geotécnica das microestacas. Conforme delineado na introdução deste trabalho, serão exploradas tanto as metodologias implementadas na ferramenta computacional Geo5, amplamente utilizada no contexto da engenharia geotécnica, quanto abordagens alternativas que, embora não disponíveis na referida plataforma, possuem reconhecida relevância no dimensionamento de fundações profundas.

#### 3.1. DIMENSIONAMENTO GEOTÉCNICO

Considerando as incertezas associadas aos parâmetros geotécnicos e à caracterização do solo, a estimativa da capacidade de suporte da raiz deve ser prioritariamente avaliada no dimensionamento de fundações profundas, visto que é a resistência do solo que estabelece o limite inicial à transferência de cargas. Sendo assim, existem vários métodos que estimam a resistência lateral do fuste por meio de diferentes variáveis. O atrito superficial lateral é o mais frequente nos métodos, com um papel fundamental no procedimento de cálculo. Uma vez obtida a resistência por meio dos métodos abaixo é necessário verificar a capacidade de suporte da raiz por meio da verificação da segurança da raiz, com coeficiente parcial de redução ou fator de segurança global. Essa etapa será detalhada na seção 3.3 e 3.4 em conformidade com as normas e com base no *software* Geo5.

##### 3.1.1. MÉTODOS DESTINADOS PARA MICROESTACAS

###### 3.1.1.1. Método de Fernando Lizzi (1982)

Dentre todos os métodos utilizados para verificar a capacidade da raiz da microestaca, a Teoria de Lizzi (1982) é a mais usual e está presente no Geo5. O grande diferencial dessa metodologia é a presença de coeficientes em relação ao diâmetro de furo e uma variável para determinar o atrito superficial que irão ponderar o resultado da resistência lateral. A Equação 1 demonstra a fórmula que descreve a teoria.

$$R_{\text{lateral}} = \pi \cdot D_{\text{nominal}} \cdot L_{\text{raiz}} \cdot \tau_m \cdot J \quad (1)$$

Em que:

- $R_{\text{lateral}}$  = Resistência lateral da raiz da microestaca (kN);
- $D_{\text{nominal}}$  = Diâmetro da raiz (m);
- $L_{\text{raiz}}$  = Comprimento total da microestaca (m);
- $\tau_m$  = Variável do atrito superficial médio limite (kPa ou kN/m<sup>2</sup>);
- $J$  = Coeficiente de influência do furo.

A variável que pondera o atrito superficial médio limite é encontrada por meio de algumas tabelas, Lizzi (1982) estabelece uma classificação conforme a compactidade do solo para determinação do coeficiente em questão. De um ponto de vista mais físico, esse parâmetro indica a resistência ao corte na interface solo-estaca. Por sua vez, o coeficiente de influência do furo é estimado por meio de uma correlação com o diâmetro nominal de projeto (diâmetro de perfuração). A Tabela 3 demonstra uma adaptação dos valores de Lizzi.

Tabela 3 - Atrito Superficial Médio e Coeficiente de Influência de Furo. (Adaptado de Lizzi, 1982).

Atrito Superficial Médio Limite		Influência do furo	
Tipo de solo	$\tau_m$ (kPa)	$D_{\text{nominal}}$ (m)	$J$
Solo mole	50	0,10	1,00
Solo solto	100	0,15	0,90
Compactidade média	150	0,20	0,85
Muito rígido, cascalho, areias	200	0,25	0,80

Existem outras referências normativas em literaturas que auxiliam no fornecimento do coeficiente de atrito superficial médio. A norma alemã DIN 4128<sup>4</sup> fornece uma tabela que relaciona o tipo de solo com a condição de esforço em que o elemento de reforço estrutural está submetido. A Tabela 4 demonstra uma adaptação da norma.

<sup>4</sup> DIN 4128: *Deutsches Institut für Normung* é uma norma alemã que fornece diretrizes para dimensionamento, projeto, execução e verificação da capacidade de carga de Microestacas de pequeno diâmetro e em estruturas de estabilização e contenção por meio de padrões desenvolvidos na Alemanha, mas que são utilizadas em toda a Europa.

Tabela 4 - Atrito Superficial Médio (DIN 4128)

Solo	Atrito Superficial Médio Limite	
	Estacas à compressão (kPa)	Estacas à tração (kPa)
areia de graduação média a grosseira	200	100
areia e cascalho	150	80
solos coesivos	100	50

Por fim, a CSN 73 1004<sup>5</sup> correlaciona o tipo de solo, com o número de camadas de argamassa, a pressão na camada de argamassa final para determinar o atrito plástico, devido a essas relações essa referência é mais indicada para microestacas do TIPO D. A Tabela 5 demonstra os parâmetros estabelecidos pela norma em questão.

Tabela 5 - Atrito Superficial Médio (CSN 73 1004)

Solo	Número de camadas de argamassa	Pressão na camada de argamassa final	Atrito Plástico
		(MPa)	(kPa)
bedrock	0	-	650 - 1100
semirock	0 a 1	0.5 - 3,0	500 - 700
cascalho arenoso	1 a 2	1.0 - 2,0	170 - 250
cascalho argiloso	1 a 2	2.0 - 4,0	170
areias	2 a 3	1.5 - 4,0	120 - 170
solos de graduação fina - muito rígido	1 a 3	1.5 - 3,0	100 - 160
solos de graduação fina - rígido	2 a 3	1.0 - 2,5	80 - 100
solos de graduação fina - firme	3 a 4	0.5 - 2,0	60 - 80

<sup>5</sup> CSN 73 1004: *Česká státní norma* (Norma Estatal Tcheca), assim como a DIN essa norma trata de dimensionamento e projeto de estacas a microestacas em solos e rochas.

### 3.1.1.2. Método de Bustamante e Doix (1985)

O trabalho de Michel Bustamante e Bernard Doix nomeado “*Une méthode pour le calcul des tirants et des micropieux injectés*” publicado em 1985 possui uma metodologia empírica e original para o dimensionamento de microestacas e tirantes, os autores mencionam uma vasta base experimental composta com 120 ensaios em escala real em 34 locais geotécnicos diferentes. O método baseia-se em dois tipos de esforços: carregamento (compressão) e arrancamento (tração), conduzidos no *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées* (LCPC) e por pesquisadores internacionais. Todo o documento dos autores destaca a importância da pressão de injeção na ancoragem do tirante/microestaca. Sendo assim eles diferenciam entre os 3 tipos de injeção (IR, IRS e IGU), além de enfatizar um limite da pressão de injeção  $p_i$  com base no tipo de solo, por meio da pressão limite do solo  $p_{limite}$ , os autores descrevem essa relação e na presente dissertação o conceito foi abordado na seção 2.2.4.3, nos tipos de microestaca de acordo com Ministério de Fomento (2005).

A formulação fundamental do método de Bustamante e Doix (1985) baseia-se no equilíbrio entre a tração limite da microestaca/tirante e o fator de atrito lateral ao longo do fuste, conforme descrito pela Equação (2):

$$R_{lateral} = \sum_{i=1}^n \pi \cdot \alpha \cdot D_{nominal,i} \cdot L_{raiz,i} \cdot q_{s,i} \quad (2)$$

Com:

- $R_{lateral}$  = Resistência lateral da raiz da microestaca (kN);
- $D_{nominal,i}$  = Diâmetro de perfuração/diâmetro da raiz (m);
- $L_{raiz,i}$  = Comprimento da raiz na camada  $i$  do solo (m);
- $q_{s,i}$  = Atrito lateral unitário limite (MPa);
- $\alpha$  = Coeficiente de majoração do diâmetro de perfuração, com base no tipo de injeção.

O coeficiente  $\alpha$  pode ser obtido por meio da Tabela 6.

Tabela 6 – Coeficiente  $\alpha$ . (Adaptado de Bustamante e Doix, 1985)

TIPO DE SOLO	Coeficiente $\alpha$		Quantidade mínima de calda recomendada ( $V_i$ )
	IRS	IGU	
Cascalho (Grave)	1,8	1,3 a 1,4	$1,5 \times V_s$
Cascalho arenoso	1,6 a 1,8	1,2 a 1,4	$1,5 \times V_s$
Areia com cascalho	1,5 a 1,6	1,2 a 1,3	$1,5 \times V_s$
Areia grossa	1,4 a 1,5	1,1 a 1,2	$1,5 \times V_s$
Areia média	1,4 a 1,5	1,1 a 1,2	$1,5 \times V_s$
Areia fina	1,4 a 1,5	1,1 a 1,2	$1,5 \times V_s$
Areia siltosa	1,4 a 1,5	1,1 a 1,2	$1,5 a 2 \times V_s$ (IRS) $1,5 \times V_s$ (IGU)
Silte	1,4 a 1,6	1,1 a 1,2	$2 \times V_s$ (IRS) $1,5 \times V_s$ (IGU)
Argila	1,8 a 2,0	1,2	$2,5 a 3 \times V_s$ (IRS) $1,5 a 2 \times V_s$ (IGU)
Marga / Marga calcária			$1,5 a 2 \times V_s$ (para camadas compactas)
Greda alterada ou fragmentada	1,8	1,1 a 1,2	$2 a 6 \times V_s$ ou mais, se for camada fraturada
Rocha alterada ou fragmentada	1,2	1,1	$1,1 a 1,5 \times V_s$ , se finamente fissurada $2 \times V_s$ ou mais, se fraturada

Para determinação do atrito lateral unitário limite, os autores fornecem ábacos empíricos em diferentes tipos de solos com base em ensaios pressiométricos, e de forma secundária, ensaios SPT. Os ábacos podem ser visualizados no ANEXO I – Ábacos de Bustamante e Doix.

Por fim, para esforços à compressão, os autores consideram uma parcela adicional da resistência de ponta. Os autores fornecem duas equações: simplificada e detalhado. A primeira abordagem assume que a resistência de ponta contribui com 15% da resistência lateral total, por utilizar de uma probabilidade é necessário de menos dados, sendo assim é importante para situações com informações imprecisas. A segunda abordagem é mais detalhada, ao utilizar um fator de capacidade de carga dependente do tipo de solo e a pressão limite do solo obtida por meio do ensaio pressiométrico. As equações (3) e (4) mostram as abordagens descritas.

$$R_{\text{ponta}} = 0,15 \cdot R_{\text{lateral}} \quad (3)$$

$$R_{\text{ponta}} = A_{\text{ponta}} \cdot k_p \cdot p_{\text{limite,p}} \quad (4)$$

Com:

- Resistência da ponta da microestaca (kN);
- $A_{\text{ponta}}$  = Área da ponta da microestaca (m<sup>2</sup>);
- $k_p$  = Fator da capacidade de carga da ponta<sup>6</sup>;
- $p_{\text{limite,p}}$  = Pressão limite do solo sob a ponta da microestaca (MPa).

### 3.1.1.3. Métodos do Ministério de Fomento (2005)

O “*Guía para el proyecto y la ejecución de micropiltes em obras de carretera*” desenvolvido pelo Ministério de Fomento (2005) descreve um método para determinar a resistência da microestaca, ao definir que a resistência de cálculo frente ao colapso deve ser superior ao esforço axial de compressão. O guia diz que a resistência de cálculo é a soma de 2 parcelas: resistência de ponta  $R_{\text{ponta}}$  e resistência lateral  $R_{\text{lateral}}$ , sendo esses fatores dependentes das características do solo e da microestaca, a metodologia é semelhante ao proposto por Bustamante e Doix (1985).

Conforme explicado pelo Ministério de Fomento (2005), a resistência de ponta não é obrigatória, entretanto para considerá-la é necessário verificar algumas especificações impostas por normas. Para os solos, a norma UNE EN ISO 22476-3 (2006) sugere considerar a resistência de ponta para solos arenosos com compacidade (densa a muito densa) com o índice do SPT superior a 30. Para os solos coesivos, a norma UNE EN ISO 17892-7 (2019) sugere considerar a resistência de ponta quando a resistência a compressão simples do solo for superior a 100 kPa, que corresponde a uma consistência de firme a dura.

De modo geral o método teórico e empírico descrito pelo guia deve corresponder a Equação (5):

$$R = R_{\text{ponta}} + R_{\text{lateral}} \quad (5)$$

Com:

$$R_{\text{ponta}} \leq 0,15 \cdot R_{\text{lateral}} \quad (6)$$

$$R_{\text{lateral}} = \sum_{i=1}^n A_{\text{lateral},i} \cdot r_{\text{lateral},i} \quad (7)$$

<sup>6</sup> De acordo com Bustamante e Doix (1985), os valores de  $k_p$  são:

1. 1,2 para areias e cascalhos;
2. 1,6 para argilas;
3. 1,8 para argilas densas;
4. 1,5 para rochas alteradas ou fragmentadas.

Onde:

- $R_{\text{ponta}}$  = Resistência de ponta da microestaca (kN);
- $R_{\text{lateral}}$  = Resistência lateral/fuste da microestaca (kN);
- $A_{\text{lateral},i}$  = Área lateral do fuste na camada  $i$  (m<sup>2</sup>);
- $r_{\text{lateral},i}$  = Resistência unitária do fuste na camada  $i$  (kN).

Dada as informações gerais, o guia descreve dois caminhos distintos para obtenção de  $r_{\text{lateral},i}$ , o primeiro sendo um método mais teórico e o segundo mais empírico.

#### 3.1.1.3.1. Método Teórico

O Geo5 trata esse método como “Método de Véas-Souche”. Entretanto, não foi encontrada nenhuma referência que o conecta com Pierre Souche. Primeiramente, o método teórico dispõe de uma Equação (8) para determinar a resistência unitária em função da profundidade  $z$ :

$$r_{\text{lateral},i}(z) = \frac{c'}{F_c} + \sigma'_h(z) \cdot \frac{\tan(\delta)}{F_\phi} \quad (8)$$

Com:

- $c'$  = Coesão efetiva (kPa);
- $\delta$  = Ângulo de atrito interno efetivo na interação solo-estrutura (°);
- $\sigma'_h(z)$  = Tensão horizontal efetiva do solo na profundidade  $z$  (kPa);
- $F_c$  = Coeficiente de minoração da coesão efetiva;
- $F_\phi$  = Coeficiente de minoração do ângulo de atrito interno efetivo (°).

Os parâmetros utilizados pelo método teórico possuem algumas peculiaridades a serem consideradas. Primeiramente, os parâmetros de resistência, ângulo de atrito e coesão, podem ser determinados por meio de ensaios triaxiais com consolidação e drenagem (CD) em conformidade com as normas ou por dados deduzidos de ensaios de campo. Em relação ao ângulo de atrito, o valor deve ser minorado por meio de um coeficiente que relaciona a interação solo-estrutura  $k_r$ , que por sua vez, deve respeitar o intervalo  $2/3 \leq k_r \leq 1$  para microestacas. Sendo assim, o ângulo de atrito a ser considerado na Equação (8) passa a ser descrito pela Equação (9):

$$\delta = \phi' \cdot k_r \quad (9)$$

Em relação aos coeficientes de minoração, estão de acordo com a aplicação da fundação, ou seja, a coesão e o ângulo de atrito terão seus valores reduzidos ao considerar aspecto de reforço de fundações pré-existentes ou um elemento estrutural novo em uma construção nova, esses valores podem ser obtidos através da Tabela 7.

Tabela 7 - Coeficiente de minoração. (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005)

Tipo de Aplicação	$F_c$	$F_\phi$
Estruturas de fundação de <b>nova construção</b>	1,50	1,50
Recalque (reforço) de estruturas de fundação <b>pré-existentes</b>	1,20	1,20

Um terceiro aspecto a ser ponderado é a tensão horizontal. Ela pode ser determinada por meio da Equação (10):

$$\sigma'_h(z) = K_{0(MF)} \cdot \sigma'_v(z) + \frac{p_i}{3} \quad (10)$$

$$K_{0(MF)} = 1 - \text{sen}(\phi') \cdot \sqrt{OCR} \quad (11)$$

Com:

- $K_{0(MF)}$  = Coeficiente de impulso do solo em repouso;
- $\sigma'_v(z)$  = Tensão vertical efetiva na profundidade  $z$  (kPa);
- $p_i$  = Pressão de injeção (kPa);
- OCR = Grau de sobreconsolidação.

A pressão de injeção tem um condicionante, para os tipos IR ou IRS e para profundidades superiores a 5 metros:  $p_i \neq 0$ . Para profundidades menores que 5 metros, deve ser  $p_i = 0$ .

Para situações a curto prazo em solo argilosos, o livro dispõe de uma fórmula simples. A resistência ao corte não drenado  $c_u$  é geralmente a metade da resistência à compressão do solo, para argilas fissuradas é essencial realizar ensaios triaxiais sem consolidação e sem drenagem (UU) em conformidade com as normas, ressalta-se que a resistência não drenada  $s_u$  é dividida por noventa por cento do coeficiente de minoração  $F_c$ . Sendo assim, a Equação (12) da resistência unitária descreve toda a situação explicada.

$$r_{\text{lateral}} = \frac{c_u}{0,90 \cdot F_c} \quad (12)$$

### 3.1.1.3.2. Método Empírico

O método empírico determina a resistência unitária lateral por meio da Equação (13):

$$r_{\text{lateral}} = \frac{r_{\text{limite}}}{F_r} \quad (13)$$

Os únicos dois parâmetros presente na fórmula referem-se ao: atrito unitário limite ao longo do fuste  $r_{\text{limite}}$  que é obtido por meio da Figura 17 e Figura 18. O coeficiente  $F_r$  é um fator minorativo que leva em consideração a duração da função estrutural das microestacas, para períodos superiores a 6 meses considera-se um coeficiente de 1,65. Para períodos inferiores adota-se 1,45.

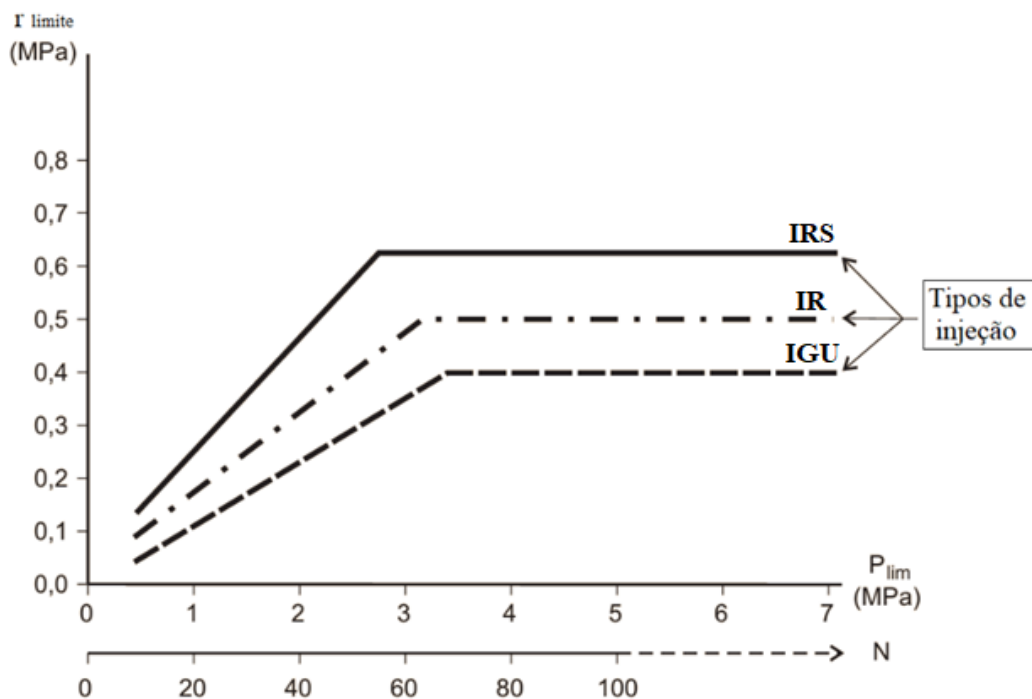


Figura 17 - Atrito unitário limite para areias e cascalho. (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005)

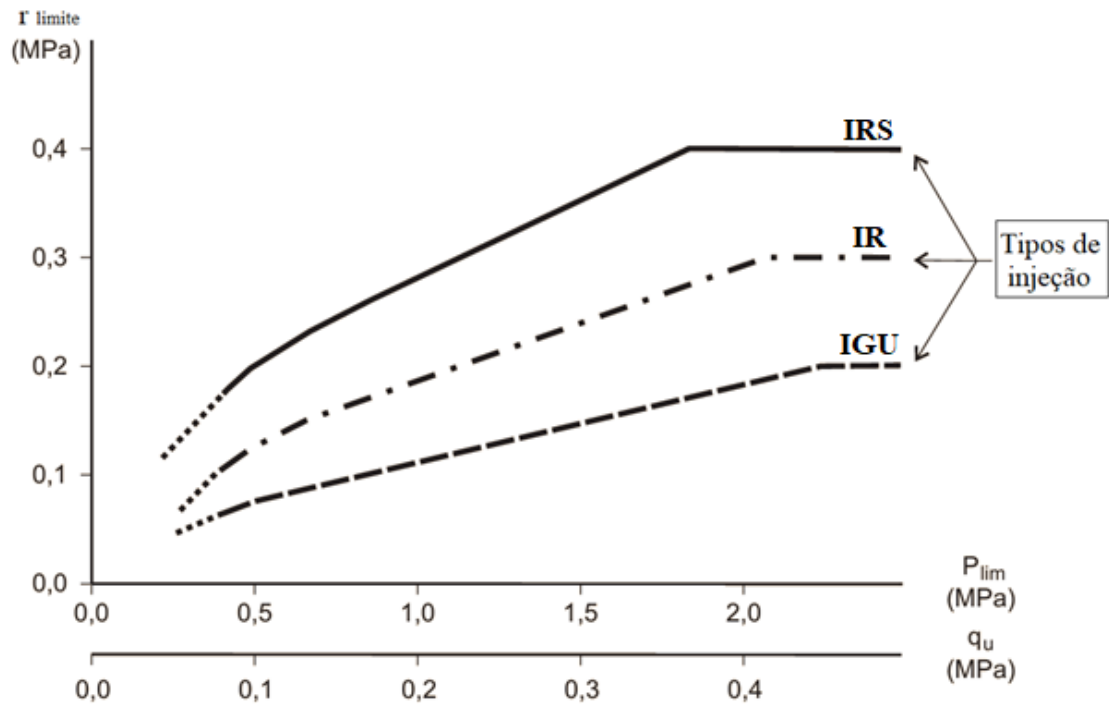


Figura 18 - Atrito unitário limite para argilas e limos. (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005)

Como pode ser observado nas figuras, elas possuem três curvas que correspondem aos tipos de injeções IGU, IR e IRS, complementando, para uma profundidade menor que 5 metros, deve-se adotar o valor de  $r_{limite}$  referente a curva de IGU. Outros aspectos que podem ser notados são os eixos dos gráficos, o eixo vertical é o parâmetro  $r_{limite}$  enquanto o eixo horizontal refere-se a dois parâmetros, o primeiro é referente a pressão limite do solo no ensaio pressiométrico  $p_{limite}$ , o segundo é o índice N do ensaio SPT para solos granulares e a resistência à compressão simples para solos coesivos. O Ministério de Fomento (2005) destaca que por mais que tenha uma escala dupla no eixo das abscissas não é uma correlação direta entre elas.

### 3.1.2. MÉTODOS BASEADOS NO DIMENSIONAMENTO DE ANCORAGENS

#### 3.1.2.1. Método de Littlejohn e Bruce (1977)

Os autores Stuart Littlejohn e Donald Bruce (1975) introduzem a metodologia em seu livro “*Rock anchors – state of the art*” e trazem uma abordagem de análise baseada em tirantes e ancoragens. É perceptível pelo título do livro que os autores trazem uma perspectiva de ancoragens predominantemente em rochas. Com isso eles determinam o dimensionamento da ancoragem com base no diâmetro  $D$  e comprimento  $L$ , conforme definido pela Equação (14):

$$P = \pi \cdot D \cdot L \cdot \tau \quad (14)$$

Onde:

- P = Capacidade de carga da ancoragem (kN);
- D = Diâmetro de perfuração (m);
- L = Comprimento total da raiz da microestaca (m);
- $\tau$  = Tensão de aderência entre argamassa injetada e solo (kPa).

Nota-se a presença da variável  $\tau$ . Ela descreve a tensão de aderência entre a argamassa injetada e o solo em kPa. Os autores fornecem várias tabelas que auxiliam na obtenção/estimativa do valor, entretanto essas referências são aplicadas para rochas e não para solos. No entanto, a FHWA (2005) fornece uma tabela que pode ser aplicada para determinar o valor em questão, a Figura 19 mostra os valores da tabela.

Descrição do Solo / Rocha	Tensão Última de Ligação Calda-Solo - kPa (psi)			
	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D
<b>Silte e Argila</b> (com alguma areia) (macio, plasticidade média)	35–70 (5–10)	35–95 (5–14)	50–120 (5–17,5)	50–145 (5–21)
<b>Silte e Argila</b> (com alguma areia) (rígido, denso a muito denso)	50–120 (5–17,5)	70–190 (10–27,5)	95–190 (14–27,5)	95–190 (14–27,5)
<b>Areia</b> (com algum silte) (fina, solta a média densidade)	70–145 (10–21)	70–190 (10–27,5)	95–190 (14–27,5)	95–240 (14–35)
<b>Areia</b> (com silte e cascalho) (fina a grossa, média a muito densa)	95–215 (14–31)	120–360 (17,5–52)	145–360 (21–52)	145–385 (21–56)
<b>Cascalho</b> (com alguma areia) (média a muito densa)	95–265 (14–38,5)	120–360 (17,5–52)	145–360 (21–52)	145–385 (21–56)
<b>Till Glacial</b> (silte, areia, cascalho) (média a muito densa, cimentada)	95–190 (14–27,5)	95–310 (14–45)	120–310 (17,5–45)	120–335 (17,5–48,5)
<b>Folhelhos Macios</b> (fraturamento fresco a moderado, pouco ou nenhum intemperismo)	205–550 (30–80)	N/D	N/D	N/D
<b>Xistos e Folhelhos Duros</b> (fraturamento fresco a moderado, pouco ou nenhum intemperismo)	515–1.380 (75–200)	N/D	N/D	N/D
<b>Calcário</b> (fraturamento fresco a moderado, pouco ou nenhum intemperismo)	1.035–2.070 (150–300)	N/D	N/D	N/D
<b>Arenito</b> (fraturamento fresco a moderado, pouco ou nenhum intemperismo)	520–1.725 (75,5–250)	N/D	N/D	N/D
<b>Granito e Basalto</b> (fraturamento fresco a moderado, pouco ou nenhum intemperismo)	1.380–4.200 (200–609)	N/D	N/D	N/D

Figura 19 - Tensão última de ligação calda-solo (Adaptado de FHWA, 2005).

Devido a semelhança no comportamento no mecanismo de transferência de carga entre as ancoragens e a microestaca, o Geo5 ilustra uma fórmula adaptada para determinar a resistência lateral da raiz da microestaca. Nessa metodologia o processo de cálculo engloba apenas 3 variáveis, diâmetro nominal, comprimento da raiz e por último um valor que corresponde a pressão na argamassa que depende diretamente do tipo de microestaca, diferente do modelo original. A Equação (15) descreve o método de Littlejohn da seguinte maneira.

$$R_{\text{lateral}} = \pi \cdot D_{\text{nominal}} \cdot L_{\text{raiz}} \cdot p_i \quad (15)$$

Onde:

- $R_{\text{lateral}}$  = Resistência lateral da raiz da microestaca (kN);
- $D_{\text{nominal}}$  = Diâmetro da raiz (m);
- $L_{\text{total}}$  = Comprimento da raiz da microestaca (m);
- $p_i$  = Pressão de injeção (kPa);

Como pode ser notado, o Método de Littlejohn é bem parecido com o de Lizzi, ambos possuem os mesmos parâmetros a diferença é a presença da variável que descreve a pressão da injeção na argamassa. O guia “*Guía para el proyecto y la ejecución de micropiltes em obras de carretera*” escrito por Ministério de Fomento (2005) estabelece uma limitação para determinar a pressão de injeção, essa limitação foi utilizada como referência do artigo de Bustamante e Doix (1985). A FHWA (2005) também estabelece um intervalo limite para a pressão de injeção com base no tipo de microestaca, seguindo a classificação por construção/selagem, conforme já foi mencionado anteriormente. Vale destacar que tem uma diferença entre a pressão da injeção da calda e a tensão da ligação entre os materiais, embora ambos os parâmetros são kPa.

### 3.1.2.2. Método de Josph Bowles (1996)

O método proposto por Josph Bowles, em seu livro “*Foundation Analysis and Design*” em 1996 propõe uma solução para o dimensionamento de ancoragens direcionado a “*Sheet-Pile Anchorages*”. A fórmula em questão pode ser visualizada na Equação (16):

$$P = \pi \cdot D \cdot L \cdot [\gamma \cdot d_2 \cdot K \cdot \tan(\delta) + c_a] \quad (16)$$

Nesse caso, os parâmetros são:

- $P$  = Capacidade de carga da ancoragem (kN);
- $D$  = Diâmetro de ancoragem (m);

- $L$  = Comprimento da ancoragem (m);
- $\delta$  = Ângulo de atrito solo-cimento (assumido igual ao ângulo de atrito interno  $\phi$ ) ( $^{\circ}$ );
- $c_a$  = Adesão da calda com o solo (usualmente estimada como uma fração de  $s_u$ ) (kPa);
- $\gamma$  = Peso específico do solo ( $\text{kN/m}^3$ );
- $K$  = Coeficiente de empuxo lateral do solo (usualmente é considerado empuxo em repouso);
- $d_2$  = Profundidade média da ancoragem (m).

O Geo5 fez algumas adaptações para adequar o método na determinação da resistência lateral da microestaca considerando a influência da coesão, portanto é muito recomendada para solos coesivos. O parâmetro referente a profundidade da ancoragem é adotado com a tensão geostática vertical ao longo do fuste da estrutura. O *software* faz essa adaptação devido ao exemplo de Bowles, que permite essa interpretação em considerar  $\gamma$  e  $d_2$  como uma tensão vertical ao longo de todo o comprimento da raiz. A solução final para a resistência lateral é representada pela Equação (17):

$$R_{\text{lateral}} = \pi \cdot D_{\text{nominal}} \cdot L_{\text{raiz}} \cdot K_0 \cdot \sigma'_v \cdot \tan(\phi') + \pi \cdot D_{\text{nominal}} \cdot L_{\text{raiz}} \cdot c \quad (17)$$

Onde:

- $R_{\text{lateral}}$  = Resistência lateral da raiz da microestaca (kN);
- $D_{\text{nominal}}$  = Diâmetro da raiz (m);
- $L_{\text{raiz}}$  = Comprimento da raiz na camada analisada (m);
- $\sigma'_v$  = Tensão geostática vertical ao longo da raiz da microestaca (kPa);
- $\phi'$  = Ângulo de atrito interno referente a camada analisada ( $^{\circ}$ );
- $c$  = Coesão efetiva referente a camada analisada (kPa);
- $K_0$  = Coeficiente de impulso do solo em repouso;

O coeficiente de impulso do solo em repouso pode ser determinado por meio da Equação (18):

$$K_0 = 1 - \text{sen}(\phi) \quad (18)$$

### 3.1.3. MÉTODOS BASEADOS EM ESTACAS ESCAVADAS E RAIZ

#### 3.1.3.1. Método de Heinz Zweck (1953)

O método proposto por Heinz Zweck foi introduzido primeira vez em seu artigo “*Mesures sur modèles réduits du frottement latéral et de la résistance de pointe des pieux*” publicado nos anuais franceses “*Annales de l’Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics (I.T.B.T.P.)*” em 1953. É possível confirmar essa informação em outra referência do mesmo autor denominada “*Zur Ermittlung der Tragfähigkeit von Pfählen*”. Nessa última, Zweck elaborou uma teoria para análise de estacas escavadas “*Bohrpfähle*” cilíndricas instaladas em areia seca, ele foca em estacas de pequeno diâmetro submetidas a carregamentos verticais estáticos. A Equação (19) descreve o método.

$$P = \psi_{SP} \cdot p_{SP} \cdot F + \psi_W \cdot p_M \cdot U \cdot h' \cdot u' \quad (19)$$

Onde:

- $p_{SP}$  = Tensão vertical na ponta da estaca (kPa);
- $F$  = Área da base da estaca (m<sup>2</sup>);
- $p_M$  = Tensão vertical ao longo de uma região do fuste da estaca (kPa);
- $U$  = Perímetro da estaca (m);
- $h'$  = Altura da região de influência do fuste (m).

Os parâmetros  $\psi_{SP}$ ,  $\psi_W$  e  $u'$  são obtidos por meio de uma tabela fornecida pelo autor que contém equações de outros autores, conforme pode ser visualizado na Figura 20.

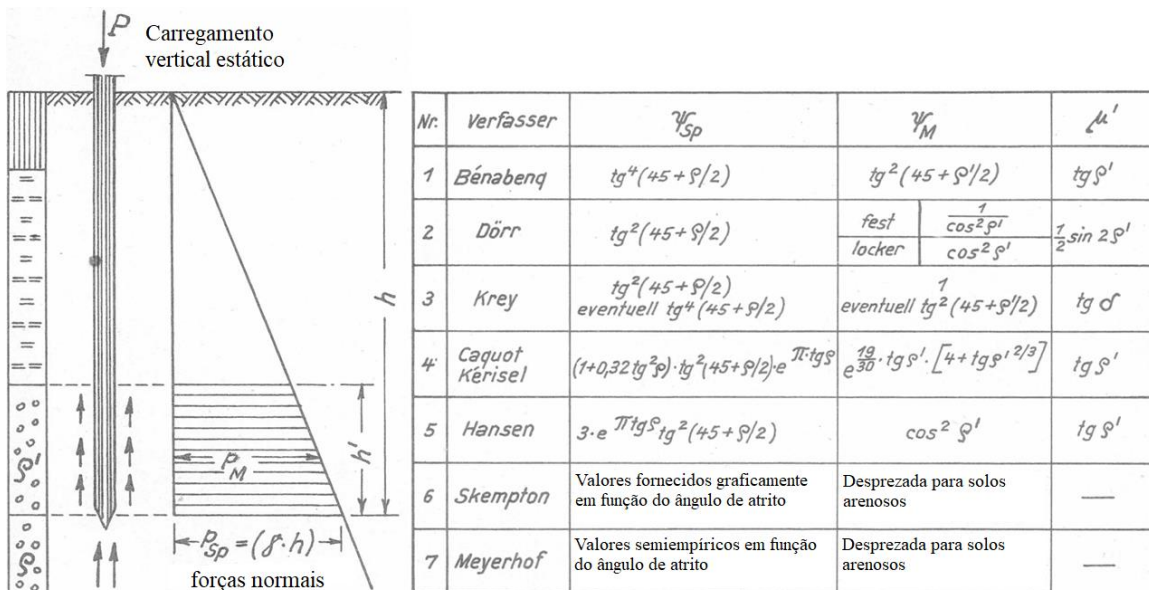


Figura 20 - Coeficientes de Zweck para carregamento vertical estático (Adaptado de Zweck, 1953)

O Geo5 faz uma adaptação da fórmula de Zweck (1953) para as microestacas. O primeiro aspecto que pode ser notado é a ausência da parcela referente a ponta da estaca. Segundo ponto, é a ausência da consideração dos coeficientes que Zweck coloca com base nas equações de outros autores. Em vez disso, o Geo5 adota um coeficiente de empuxo do solo em repouso, representado pela Equação (18) que foi vista no método de Joseph Bowles (1996). Por meio dessas fundamentações tem-se como Equação (20) para resistência lateral:

$$R_{\text{lateral}} = \pi \cdot D_{\text{nominal}} \cdot L_{\text{raiz}} \cdot \frac{1 + K_0}{2} \cdot \sigma_z \cdot \tan(\phi') \quad (20)$$

Em que:

- $R_{\text{lateral}}$  = Resistência lateral da raiz da microestaca (kN);
- $D_{\text{nominal}}$  = Diâmetro da raiz (m);
- $L_{\text{raiz}}$  = Comprimento da raiz na camada analisada (m);
- $K_0$  = Coeficiente de empuxo do solo em repouso, Equação (18);
- $\phi'$  = Ângulo de atrito interno referente a camada analisada (°);
- $\sigma_z$  = Tensão vertical ao longo da raiz da microestaca (kPa).

### 3.1.3.2. Método de Aoki e Velloso (1975)

O método de Nelson Aoki e Dirceu de Alencar Velloso descrito primeiramente na literatura “*An approximate method to estimate the bearing capacity of piles*” de Aoki e Velloso (1975), posteriormente descrito também por Fantine *et al* (2000), Cintra e Aoki (2010) foi desenvolvido no ano de 1975 por meio de um estudo de comparação entre provas de cargas e sondagens SPT. Inicialmente, os autores se basearam nos ensaios de penetração estática do cone de Begeman com luva de atrito (CPT). Com isso, eles obtiveram uma resistência de ponta do cone ( $q_c$ ) e o atrito lateral unitário da luva ( $f_s$ ), que são minorados por dois fatores de correção.

$$r_p = \frac{q_c}{F_1} \quad (21)$$

$$r_L = \frac{f_s}{F_2} \quad (22)$$

Os fatores de correção presentes nas equações acima, levam em consideração o efeito escala e são determinados para corrigir a diferença de comportamento entre estaca (protótipo) e o cone do ensaio CPT (modelo), ressalta-se que o método/processo construtivo de cada tipo de estaca influencia no valor. Como pode ser observado na Tabela 8 referente aos fatores de

correção, o método não é exclusivo para microestacas, mas pode ser adaptado ao considerar fatores para uma estaca raiz convencional.

Tabela 8 - Fatores de correção (Cintra e Aoki, 2010).

Tipo de estaca	$F_1$	$F_2$
<b>Franki</b>	2,50	$2 \cdot F_1$
<b>Metálica</b>	1,75	$2 \cdot F_1$
<b>Pré-moldada</b>	$1 + \frac{D}{0,80}$	$2 \cdot F_1$
<b>Escavada</b>	3,00	$2 \cdot F_1$
<b>Raiz, Hélice contínua e Ômega</b>	2,00	$2 \cdot F_1$

Existe um coeficiente de conversão K que estabelece a proporcionalidade entre a resistência de ponta, este coeficiente apresenta valores diferentes dependendo do tipo de solo e ele surge por meio de uma função linear que correlaciona os ensaios SPT e CPT para fornecer o valor corrigido através do SPT, devido a popularidade do ensaio no Brasil. Além disso, tem-se mais um fator, chamado de razão de atrito  $\alpha$ , que correlaciona o atrito local do cone com a ponteira e a tensão de ponta da estaca. A Tabela 9 fornece todos os valores correspondente ao tipo de solo.

Tabela 9 - Coeficiente de conversão e razão de atrito (Cintra e Aoki, 2010).

Solo	K (MPa)	$\alpha_{AV}$ (%)
Areia	1,00	1,4
Areia siltosa	0,80	2,0
Areia silto-argilosa	0,70	2,4
Areia argilosa	0,60	3,0
Areia argilossiltosa	0,50	2,8
Silte	0,40	3,0
Silte arenoso	0,55	2,2
Silte arenoargiloso	0,45	2,8
Silte argiloso	0,23	3,4
Silte argiloarenoso	0,25	3,0
Argila	0,20	6,0
Argila arenosa	0,35	2,4
Argila arenossiltosa	0,30	2,8
Argila siltosa	0,22	4,0
Argila siltoarenosa	0,33	3,0

As Equações (21) e (22) da resistência de ponta unitária e resistência lateral unitária com a aplicação dos fatores mencionados e explicados, torna-se:

$$r_P = \frac{K \cdot N_P}{F_1} \quad (23)$$

$$r_L = \frac{\alpha_{AV} \cdot K \cdot N_L}{F_2} \quad (24)$$

A resistência total de uma estaca pode ser determinada por meio da soma da resistência de ponta com a resistência lateral. Complementando, a resistência de ponta  $R_P$  é dada pelo produto da resistência de ponta unitária com a área da ponta, assim como, a resistência lateral é o produto da resistência lateral unitária com a área lateral, conforme demonstrado na Equação (25) final:

$$R = \frac{K \cdot N_P}{F_1} \cdot A_p + \frac{U}{F_2} \cdot \sum_{i=1}^n (\alpha_{AV} \cdot K \cdot N_{L_i} \cdot \Delta L_i) \quad (25)$$

Parâmetros que não foram explicados:

- $R$  = Resistência total da microestaca (kN);
- $U$  = Perímetro da estaca (m);
- $A_p$  = Área da base da estaca/microestaca (m<sup>2</sup>);
- $\Delta L_i$  = Comprimento do segmento de estaca analisado (m);
- $N_P$  = Valor de  $N_{SPT}$  considerado ao nível da ponta da estaca;
- $N_{L_i}$  = Valor médio no  $N_{SPT}$  a cada segmento  $\Delta L_i$  de estaca.

### 3.1.3.3. Método de Décourt e Quaresma (1978)

Este método foi desenvolvido por Luciano Décourt e Arthur Quaresma em 1978 e introduzido no artigo “Capacidade de carga de estacas a partir de valores SPT”. Cintra e Aoki (2010), Pereira *et al.* (2020) também descrevem essa metodologia. Apesar de direcionar inicialmente para estacas de concreto cravadas, obtendo reconhecimento internacional e nacional nesse campo, Décourt (1996) fez uma atualização em seu método ao ampliar a aplicação para outros tipos de estacas por meio dos coeficientes empíricos de correção de dados  $\alpha$  e  $\beta$ , para refletir a resistência real do solo, na ponta e ao longo do comprimento do fuste da estaca, respectivamente. Segundo o próprio autor esses fatores só devem ser utilizados em caso de inexistência de experiência local. A Tabela 10 demonstra os fatores de correção proposto em 1996.

Tabela 10 – Coeficientes empíricos  $\alpha$  e  $\beta$  (Décourt, 1996).

Tipo de solo	Coeficiente	Escavadas em geral	Escavada (betonita)	Hélice contínua	Estaca raiz	Injetadas sob altas pressões
Argilas	$\alpha_{DQ}$	0,85	0,85	0,30	0,85	1,00
	$\beta_{DQ}$	0,80	0,90	1,00	1,50	3,00
Solos intermediários	$\alpha_{DQ}$	0,60	0,60	0,30	0,60	1,00
	$\beta_{DQ}$	0,65	0,75	1,00	1,50	3,00
Areias	$\alpha_{DQ}$	0,50	0,50	0,30	0,50	1,00
	$\beta_{DQ}$	0,55	0,60	1,00	1,50	3,00

A estimativa da resistência lateral unitária  $r_L$  é realizada por meio do valor médio do índice de resistência à penetração do SPT por todo o fuste  $\overline{N}_L$ . Adicionalmente não são considerados valores que serão utilizados na avaliação da resistência de ponta e esse valor médio deve respeitar um intervalo entre 3 e 50, portanto  $3 \geq \overline{N}_L \leq 50$ . Toda essa parcela de  $r_L$  deve ser multiplicada pela área lateral do fuste e o coeficiente de correção  $\beta$ .

A resistência de ponta unitária  $r_P$  utiliza o valor médio de três valores do índice de resistência à penetração na ponta ou base da estaca, sendo eles: o anterior a ponta ou base, o correspondente e o posterior. Além disso, essa parcela da metodologia deve ser multiplicada por depois valores: coeficiente de correção de dados  $\alpha$  e o outro um coeficiente característico do solo que foi corrigido através de 41 provas de carga realizadas (Cintra e Aoki, 2010; Décourt, 1996). Esse fator que relaciona o solo pode ser consultado na Tabela 11.

Tabela 11 - Coeficiente característico do solo (Décourt, 2016).

Tipo de solo	C (kN/m <sup>2</sup> )	
	Deslocamento	Escavada
Argilas	120	100
Silte argiloso (residual)	200	120
Silte argiloso	250	140
Areia	400	200

Diante do exposto, a resistência total, assim como o método de Aoki e Velloso (1975), é a soma da resistência de ponta somado com a resistência lateral. Sendo assim, a Equação final (26) é descrita da seguinte forma:

$$R = \alpha_{DQ} \cdot C \cdot N_{P(DQ)} \cdot A_P + \sum_{i=1}^n \left( \frac{\overline{N}_{L_i(DQ)}}{3} + 1 \right) \cdot 10 \cdot U \cdot \beta_{DQ} \cdot \Delta L_i \quad (26)$$

Onde:

- Resistência total da microestaca (kN);
- $U$  = Perímetro da estaca (m);
- $\Delta L_i$  = Comprimento do segmento de estaca analisado (m);
- $A_p$  = Área da base da estaca/microestaca (m<sup>2</sup>);
- $\alpha_{DQ}$  = Coeficiente empírico de correção da resistência de ponta;
- $\beta_{DQ}$  = Coeficiente empírico de correção da resistência ao longo do fuste.

#### 3.1.3.4. Método de David Cabral (1986)

David Cabral desenvolveu esse método em seu artigo “O uso de estaca raiz como fundação de obras normais” no ano de 1986 no Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, como pode ser percebido este método é destinado para estacas do tipo raiz, com diâmetro final menor ou igual a 45 cm e uma pressão de injeção menor ou igual 4 kgf/cm<sup>2</sup> (0,4 MPa), sendo assim é possível ser aplicado para microestacas, ao desconsiderar essas limitações. Assim como os métodos anteriores, Cabral (1986) considera no cálculo da resistência total final a soma da resistência de ponta  $R_p$  e resistência lateral  $R_L$  do fuste da estaca.

A metodologia possui três fatores que irão influenciar no valor das resistências. O primeiro é um fator dependente do diâmetro da estaca e da pressão da injeção  $\beta_0$ , esse parâmetro irá impactar na parcela  $R_p$  e  $R_L$ . O segundo fator  $\beta_1$  será utilizado no cálculo de  $R_L$ , enquanto o terceiro fator  $\beta_2$  é aplicado em  $R_p$ . Ambos os fatores são coeficientes que dependem do tipo de solo. A Tabela 12 fornece os valores da metodologia.

Tabela 12 - Coeficientes de Cabral que depende do tipo de solo (Cabral, 1986).

Solo	$\beta_1$ (%)	$\beta_2$
Areia	7,0	3,0
Areia siltosa	8,0	2,8
Areia argilosa	8,0	2,3
Silte	5,0	1,8
Silte arenoso	6,0	2,0
Silte argiloso	3,5	1,0
Argila	5,0	1,0
Argila arenosa	5,0	1,5
Argila siltosa	4,0	1,0

A fórmula final do método pode ser definida pelas Equações (27) e (28):

$$\beta_0 = 1 + 0,11 \cdot \rho - 0,01 \cdot D \quad (27)$$

$$R = \beta_0 \cdot \beta_2 \cdot N_P \cdot A_P + \sum_{i=1}^n \beta_0 \cdot \beta_1 \cdot N_{L_i} \cdot U \cdot \Delta L_i \quad (28)$$

Onde:

- R = Resistência total da microestaca (kN);
- U = Perímetro da estaca (m);
- $\Delta L_i$  = Comprimento do segmento de estaca analisado (m);
- $A_P$  = Área da base da estaca (m<sup>2</sup>);
- $N_P$  = Índice de resistência à penetração SPT no nível da ponta da estaca;
- $N_{L_i}$  = Índice de resistência à penetração SPT no segmento de estaca.

Deve ser levado em consideração que para utilização do método:

- $\beta_0 \cdot \beta_2 \cdot N_P \leq 0,2$  MPa;
- $\beta_0 \cdot \beta_1 \cdot N_{L_i} \leq 5,0$  MPa.

### 3.1.3.5. Método de Brasfond (1991)

O método de Brasfond é descrito em seu catálogo “Tecnologia e Inovação em Engenharia Geotécnica” de 1991 na página 70. O autor descreve o método por meio da estimativa da resistência de estacas raiz por meio de resultados das sondagens de reconhecimento SPT, executadas de acordo com a ABNT NBR 6484 (2020). Vale ressaltar que esse método utiliza dois fatores que contribuí para o resultado da resistência final, o primeiro fator é o índice de atrito lateral  $\beta_B$ , no qual Brasfond (1991) considera 6,0 kPa para qualquer tipo de solo. O outro coeficiente corresponde ao tipo de solo onde se situa a ponta da estaca  $\alpha_B$  que pode ser observado na Tabela 13.

Tabela 13 - Coeficiente da resistência de ponta (Brasfond, 2001).

Solo	$\alpha$ (kN/m <sup>2</sup> )
Argila siltosa	90
Silte argiloso	100
Argila arenosa	110
Silte arenoso	120
Areia argilosa	130
Areia siltosa	160
Areia	200
Areia com pedregulhos	260

Com base nas informações, a equação da resistência total pode ser descrita de acordo com a Equação (29):

$$R = \alpha_B \cdot \overline{N_{P(B)}} \cdot A_P + \beta_B \cdot \overline{N_{L(B)}} \cdot U \cdot L \quad (29)$$

Onde:

- $R$  = Resistência total da microestaca (kN);
- $U$  = Perímetro da estaca (m);
- $L$  = Comprimento útil da estaca (m);
- $A_P$  = Área da base da estaca (m<sup>2</sup>);
- $\overline{N_{P(B)}}$  = Média dos valores do índice de resistência à penetração SPT determinada a um metro acima e a um metro abaixo da ponta da estaca. O valor do  $N_{SPT}$  não pode ser superior a 40;
- $\overline{N_{L(B)}}$  = Média dos valores do índice de resistência à penetração SPT ao longo do fuste. O valor do  $N_{SPT}$  não pode ser superior a 40.

#### 3.1.3.6. Método de Alberto Teixeira (1996)

Assim como Aoki e Velloso (1975), Décourt e Quaresma (1975) e outros autores, Teixeira (1996) desenvolve sua metodologia por meio de uma equação unificada para estimar a resistência total de uma estaca com base em dois coeficientes e ela pode ser adaptada para as microestacas. Essa metodologia foi apresentada no 3º Seminário de Engenharia de Fundação Especiais e Geotecnia (SEFE III). Teixeira (1996), Pereira *et al.* (2020), Cintra e Aoki (2010) descrevem que cada um dos parâmetros remete a uma parcela da equação, o primeiro,  $\alpha_T$  está relacionado a resistência de ponta  $R_P$ , e refere-se ao tipo de solo e estaca. O segundo fator  $\beta_T$  corresponde a resistência de atrito lateral  $R_L$ , refere-se ao tipo de estaca e não depende do solo. A Tabela 14 fornece os valores determinados por Teixeira (1996).

Tabela 14 - Coeficientes de correção de Teixeira (Pereira *et al*, 2020).

Coeficiente de correção	Solo	Tipo de estaca*			
		I	II	III	IV
Valores de $\alpha_T$ (kN/m <sup>2</sup> ) em função do tipo de solo e estaca ( $4 < N < 40$ )	Argila siltosa	110	100	100	100
	Silte argiloso	160	120	110	110
	Argila arenosa	210	160	130	140
	Silte arenoso	260	210	160	160
	Areia argilosa	300	240	200	190
	Areia siltosa	360	300	240	220
	Areia	400	340	270	260
	Areia com pedregulhos	440	380	310	290
Valores de $\beta_T$ (kN/m <sup>2</sup> ) em função do tipo de estaca		4	5	4	6

\* Tipos de estaca: I - Pré moldadas de concreto e perfis metálicos; II - Frank; III - Escavadas a céu aberto; IV - Estacas raiz

Diante do exposto, a equação final da resistência total de Teixeira (1996) pode ser descrita pela Equação (30):

$$R = \alpha_T \cdot \overline{N_{P(T)}} \cdot A_P + \beta_T \cdot \overline{N_{L(T)}} \cdot U \cdot L \quad (30)$$

Onde:

- $R$  = Resistência total da microestaca (kN);
- $U$  = Perímetro da estaca (m);
- $L$  = Comprimento útil da estaca (m);
- $A_P$  = Área da base da estaca (m<sup>2</sup>);
- $\overline{N_{P(T)}}$  = Valor médio do índice de resistência à penetração no intervalo de 4 diâmetros acima da ponta e 1 diâmetro abaixo da ponta da estaca;
- $\overline{N_{L(T)}}$  = Valor médio do índice de resistência à penetração ao longo do fuste da estaca.

### 3.2. DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

Após a determinação da resistência geotécnica da microestaca, é necessário verificar a capacidade de suporte da seção transversal da armadura tubular. Esta verificação contempla tanto a avaliação da durabilidade, considerando a vida útil da fundação, quanto a análise da resistência da seção transversal frente aos diferentes tipos de esforços solicitantes. Idealmente, a análise deve contemplar combinações de forças normais com momentos fletores, a fim de reproduzir com maior fidelidade os estados de solitação reais. No entanto, para efeito do presente estudo, a avaliação estrutural será conduzida apenas com base em esforços de

compressão, em conformidade com as condições específicas do estudo de caso, conforme será detalhado na seção 4.

### 3.2.1. CAPACIDADE DE SUPORTE DA SEÇÃO TRANSVERSAL

#### 3.2.1.1. Vida útil da microestaca

Mesmo que a injeção da calda proteja a armadura tubular contra a corrosão devido a um cobrimento, de acordo com a norma NP EN 14199 (2015), a área da seção transversal da armadura deve considerar uma perda da espessura pela ação corrosiva em função do tempo de projeto e o tipo de solo, determinado pela Equação (31).

$$A_a = \frac{\pi}{4} \cdot \left( (D_{\text{tubular}} - 2 \cdot r_{\text{esp}})^2 - (D_{\text{tubular}} - 2 \cdot t)^2 \right) \cdot F_{u,c} \quad (31)$$

Com:

- $D_{\text{tubular}}$  = Diâmetro externo da armadura tubular (m);
- $t$  = Espessura da armadura tubular (m);
- $r_{\text{esp}}$  = Redução da espessura da armadura tubular devido à corrosão (m);

A Tabela 15 mostra os valores de acordo com o tempo de vida útil da microestaca e o tipo de solo envolvente.

Tabela 15 - Redução da espessura em milímetros. (Adaptado de NP EN 14199, 2015).

Tipo de solo	Tempo de vida útil da microestaca (anos)				
	5	25	50	75	100
<b>Solos naturais não alterados</b>	0,00	0,30	0,60	0,90	1,20
<b>Solos naturais contaminados ou solos industriais</b>	0,15	0,75	1,50	2,25	3,00
<b>Solos naturais agressivos (turfas, pântanos etc.)</b>	0,20	1,00	1,75	2,50	3,25
<b>Aterros não agressivos sem compactar</b>	0,18	0,70	1,20	1,70	2,20
<b>Aterros agressivos sem compactar (cinzas, escórias etc.)</b>	0,50	2,00	3,25	4,50	5,75

O coeficiente  $F_{u,c}$  determina a redução da espessura da armadura tubular em função do tipo de união para uma microestaca em compressão. O valor de  $F_{u,c}$  é igual a 1,00 para as seguintes situações de união: Ligação por meio de manguitos externos duplamente roscados,

sem redução de seção; rosca macho e fêmea com seção alargada; rosca macho e fêmea, sem seção alargada e com contato a topo em ambas as extremidades; por fim, outras uniões projetadas especificamente para não sofrer perda de resistência. Para os demais casos, o valor do coeficiente é igual 0,5.

### 3.2.1.2. Capacidade de suporte da seção sob esforço de compressão

#### 3.2.1.2.1. Considerações do software Geo5 (2020)

Todo o processo de cálculo da capacidade de suporte da seção descrita nessa seção foi fundamentado com base no site oficial do *software* Geo5 (2020). Inicialmente, o software considera a Equação (32) para determinar a força normal de compressão:

$$N_{c,u} = \chi_{geo5} \cdot \left( A_{aço} \cdot \frac{R_{aço}}{\gamma_{ss}} + A_c \cdot \frac{R_c}{\gamma_{sc}} \right) \quad (32)$$

Onde:

- $N_{c,u}$  = Força normal de compressão (kN);
- $R_{aço}$  = Resistência do aço normalizada (MPa);
- $\gamma_{ss}$  = Coeficiente de redução do aço;
- $A_{aço}$  = Área da armadura tubular da microestaca (m<sup>2</sup>);
- $R_c$  = Resistência da calda/argamassa de cimento à compressão normalizada (MPa);
- $\gamma_{sc}$  = Coeficiente de redução da calda/argamassa;
- $A_c$  = Área da parte de mistura de cimento da seção transversal (m<sup>2</sup>);
- $\chi_{geo5}$  = Fator de redução do Geo5.

A influência de curvatura é determinada pelo fator de redução, que por sua vez está relacionado com a esbeltez adimensional que deve ser recalculada por meio da resistência de dimensionamento do aço. Vale destacar que a esbeltez considera o comprimento de curvatura do elemento e o raio de giração da seção transversal. Primeiramente, a esbeltez adimensional pode ser calculada por meio da Equação (33).

$$\lambda = \sqrt{\frac{E_{aço} \cdot A_{aço} \cdot \pi^2}{N_{cr}}} \quad (33)$$

Onde:

- $E_{aço}$  = Módulo de elasticidade ideal da seção transversal (MPa);
- $A_{aço}$  = Área da seção transversal ideal (m<sup>2</sup>);
- $N_{cr}$  = Carga crítica de encurvadura (kN). Esse parâmetro pode ser verificado na seção 0.

A esbeltez recalculada pode ser determinada por meio da Equação (34):

$$\lambda_p = \lambda \cdot \sqrt{\frac{R_{aço,d}}{210}} \quad (34)$$

Onde:

- $R_{sd}$  = Resistência de dimensionamento do aço (MPa). Refere-se a resistência do aço normalizada minorada pelo coeficiente de redução  $\gamma_{ss}$ .

Por fim, o coeficiente de curvatura pode ser calculado por meio da Equações (35) e (36):

$$\chi_{geo5,1} = \frac{1}{2} \cdot \left[ 1,26 + \left( \frac{93}{\lambda_p} \right)^2 \right] - \sqrt{\frac{1}{4} \cdot \left[ 1,26 + \left( \frac{93}{\lambda_p} \right)^2 \right]^2 - \left( \frac{93}{\lambda_p} \right)^2} \quad (35)$$

$$\chi_{geo5,2} = \left\{ \frac{1}{2} \cdot \left[ 1,26 + \left( \frac{93}{250} \right)^2 \right] - \sqrt{\frac{1}{4} \cdot \left[ 1,26 + \left( \frac{93}{250} \right)^2 \right]^2 - \left( \frac{93}{250} \right)^2} \right\} \cdot \left( \frac{250}{\lambda_p} \right)^2 \quad (36)$$

A Equação (35) é utilizada quando a esbeltez recalculada é menor ou igual a 250, enquanto a Equação (36) é usada se a esbeltez recalculada for maior que 250. Por mais que o *software* forneça uma metodologia de calcular a capacidade de suporte. É estritamente necessário verificar como o Eurocódigo 3 descreve o processo de cálculo.

### 3.2.1.2.2. Considerações do Eurocódigo 3

A norma NP EN 1993-1-1 (2005) considera algumas diretrizes para determinar a capacidade de suporte da seção da armadura tubular. De acordo com a norma, na seção 6.3.1, a compressão para elementos uniformes deve ser verificada ao atender a Inequação (1):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,00 \quad \text{Inequação (1)}$$

Onde:

- $N_{Ed}$  = Valor de cálculo do esforço a compressão, nesse caso ações majoradas de acordo com as normas portuguesas;
- $N_{b,Rd}$  = Resistência de cálculo à encurvadura do elemento comprimido.

A resistência  $N_{b,Rd}$  deve ser determinada com base na classe do elemento estrutural. A norma NP EN 1993-1-1 (2005) fornece uma tabela que permite determinar por meio de alguns valores. A tabela em questão está no ANEXO II – Tabelas do Eurocódigo 3. De acordo com a seção 5.5.2 da respectiva norma, existem 4 classes de seção transversal:

- Seções de Classe 1 são aquelas que podem formar uma rótula plástica com a capacidade de rotação exigida pela análise plástica sem redução da resistência;
- Seções de Classe 2 são aquelas que podem desenvolver sua resistência plástica à flexão, mas possuem capacidade limitada de rotação devido à encurvadura local;
- Seções de Classe 3 são aquelas em que a tensão na fibra extrema em compressão do elemento de aço, assumindo uma distribuição elástica de tensões, pode atingir o limite de escoamento, mas a encurvadura local pode impedir o desenvolvimento da resistência plástica ao momento;
- Seções de Classe 4 são aquelas em que ocorrerá encurvadura local antes da obtenção da tensão de escoamento em uma ou mais partes da seção transversal.

Com base na classe da seção transversal, a resistência  $N_{b,Rd}$  pode ser calculada por meio das Equações (37) e (38):

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}, \text{ para as classes 1, 2 e 3} \quad (37)$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}, \text{ para classe 4} \quad (38)$$

Nas equações acima  $f_y$  refere-se à resistência característica do aço e o  $\gamma_{M1}$  é um coeficiente de redução parcial. O fator de redução para o modo de encurvadura relevante,  $\chi$ , pode ser determinado por meio da Equação (39):

$$\chi = \frac{1}{0,5[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] + \sqrt{(0,5[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2])^2 + \bar{\lambda}^2}} \quad (39)$$

O fator  $\alpha$  reflete a imperfeição geométrica da estrutura. Para determiná-lo deve-se verificar qual das curvas de encurvadura que o Eurocódigo 3 disponibiliza caracteriza o material. A norma apresenta 5 curvas que podem ser visualizados na Figura 21. O ANEXO II – Tabelas do Eurocódigo 3 contém uma figura que mostra a seleção da curva com base no tipo de seção transversal, o que possibilita a determinação do fator em questão.

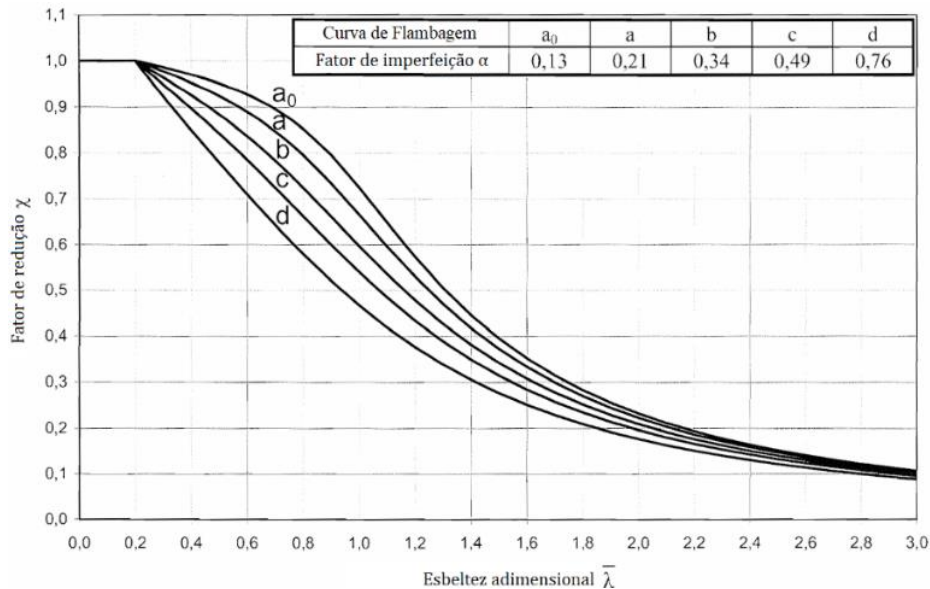


Figura 21 - Fator de imperfeição e curvas de encurvadura (Adaptado de NP EN 1993-1-1, 2005).

Por fim, pode-se determinar a esbeltez adimensional por meio das Equações (40) e (41):

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}, \text{ para as classes 1, 2 e 3} \quad (40)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_{cr}}}, \text{ para classe 4} \quad (41)$$

O parâmetro  $N_{cr}$  refere-se a carga crítica de encurvadura, embora a norma não forneça uma fórmula, usualmente vários autores/projetistas utilizam a carga crítica de Euler para elementos estruturais. Para a estimativa da capacidade estrutural da microestaca existem outras fórmulas de determinar  $N_{cr}$  que consideram as reações horizontais do solo envolto da microestaca. No entanto, a carga crítica de encurvadura não reflete a resistência real da estrutura, por isso é necessário realizar todo o procedimento descrito para a compressão na norma em questão.

### 3.2.2. INFLUÊNCIA DO SOLO NA CAPACIDADE ESTRUTURAL

A capacidade estrutural de uma estaca é influenciada pela interação com o solo ao seu redor, especialmente em termos da reação horizontal do terreno ao longo do comprimento de uma microestaca. Essa reação tem papel relevante na avaliação da carga crítica  $N_{cr}$ , pois confere confinamento e rigidez lateral ao elemento, alterando seu comportamento frente à instabilidade. De acordo com Youssef (2010), com base nos estudos de Selvadurai (1979), diversos modelos teóricos são utilizados para representar essa interação solo-estrutura, considerando desde fundações isoladas até sistemas mais complexos. Tais abordagens permitem incorporar a rigidez do solo como parâmetro na análise estrutural da microestaca, resultando em estimativas mais realistas da capacidade de carga crítica, um dos modelos mais utilizados foi proposto por Emil Winkler, em 1867.

#### 3.2.2.1. Modelo de Winkler (1867)

O modelo proposto por Winkler (1867) assume que a reação do solo horizontal  $q(x, y)$  é proporcional ao deslocamento vertical  $w(x, y)$  em um determinado ponto na interface. Fisicamente, o modelo em questão considera o solo como um sistema de molas elásticas distribuídas ao longo do fuste da microestaca/estaca, que são, independentes uma das outras, infinitamente próximas e com uma rigidez constante  $k$ . O plano de recalque do solo ocorre apenas nas zonas sob a superfície de carregamento (Youssef, 2010; Ministério de Fomento, 2005; Shi *et al.* 2015). O modelo é amplamente utilizado em vários métodos para determinar a carga crítica de encurvadura nos modelos de Mandel (1936), Koronev (1960), Hetényi (1966), Método Geométrico de Euler proposto por Timoshenko (1936), Davinsson e Robinson (1965) e Souche (1984), sempre a considerar o módulo de reação constante. Apesar de não ser o foco da presente dissertação, existem outros métodos que também são estudados.

Ao contrário do método de Winkler, o modelo de meio contínuo (*Continuum Elástico*) admite propagações laterais do recalque, sendo assim o solo é caracterizado como semi infinito, elástico e contínuo, dependente do módulo de elasticidade do solo  $E_s$  e o coeficiente de Poisson  $\nu$ . De acordo com Youssef (2010) o modelo em questão deriva as ideias da teoria de Boussineq (1885) e por mais que seja mais realista do ponto de vista interpretativo, necessita de cálculos matemáticos mais complexos. Alguns autores forneceram soluções para o modelo, como Gorbunov-Pasadow (1941 e 1949), Galin (1961), Luré (1964), Harr (1966), Popov (1971).

Os *modelos biparamétricos* surgem para suprimir a ausência de continuidade do modelo de Winkler e a complexidade do modelo de meio contínuo, portanto podem ser chamados

também de modelos intermediários com hipóteses simplificadoras. De acordo com Youssef (2010), estes consideram até duas constantes elásticas independentes e são divididos em duas famílias. A primeira, deriva do método de Winkler, no entanto, para estabelecer a continuidade, apresentam uma interação mecânica entre as molas. Os autores Filonenko-Borodich (1940), Hetenyi (1946) e Pasternak (1954) incluem em seus modelos clássicos o primeiro conceito. A segunda família, deriva do modelo de meio contínuo, introduzindo simplificações sobre a distribuição dos deslocamentos e tensões para auxiliar na complexidade, como exemplos dessa família tem-se: Reisnerr (1958) e Vlasov-Leontiev (1949 e 1966).

Apesar do realismo aproximado dos modelos mencionados, o método de Winkler facilita o desenvolvimento/compreensão de soluções analíticas para caracterizar deslocamentos transversais da microestaca. Portanto o método é ainda relevante para estudos e amplamente aplicado em conceitos, exemplificando, Khidri *et al.* (2025) utilizou em seu estudo “*Numerical Analysis of Screw Micropiles Under Lateral Loads via BNWF Method*” uma versão aprimorada do método de Winkler ao considerar um sistema de molas não-lineares. Diante disso, as teorias que calculam a carga crítica de encurvadura que será abordada no próximo capítulo também utilizam aplicações do método em questão, sendo assim é convencional compreender o funcionamento da teoria sobre as microestacas.

De modo geral, o método considera a reação média do solo por unidade de área da superfície deformada, que se equivale a carga distribuída da fundação  $q(x,y)$ . De modo análogo, o recalque gerado é semelhante ao que aconteceria se um bloco de fundação afundasse em um líquido com densidade equivalente (Youssef, 2010; Ministério de Fomento, 2005; Salas, 1984). A Figura 22 demonstra a concepção do método e aplicação da fórmula em uma fundação.

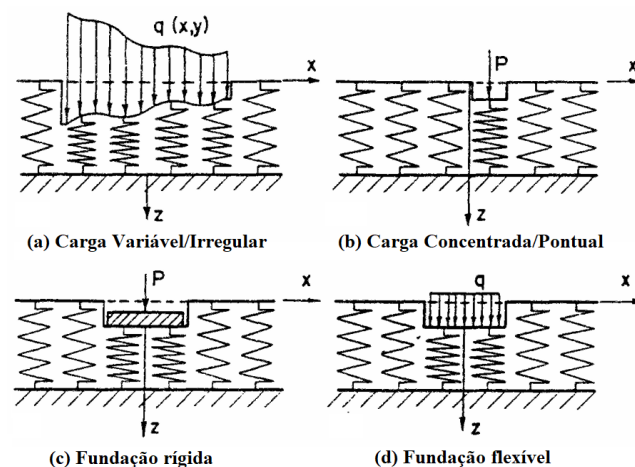


Figura 22 - Comportamento do solo no modelo de Winkler com diferentes cargas. (Adaptado de Selvadurai, 1979)

Generalizando, tem-se como Equação (42):

$$q = k \cdot w \quad (42)$$

Com:

- $k$  = Módulo de Winkler ou coeficiente de reação do solo ( $\text{MN}/\text{m}^3$ );
- $w$  = Deslocamento da fundação (m).

Alternativamente, o método considera uma carga aplicada por unidade de comprimento ao longo do eixo da microestaca sendo igual a reação por unidade de comprimento gerada pelo solo quando o elemento se deforma/desloca. A Figura 23 demonstra o conceito da carga aplicada na seção transversal do elemento.

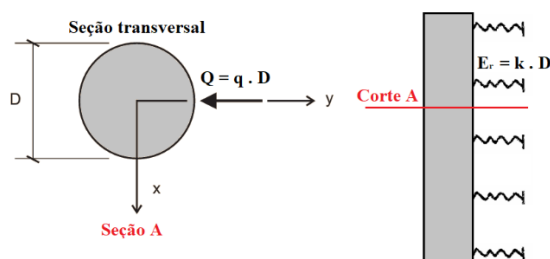


Figura 23 - Seção transversal da microestaca submetida a uma carga aplicada.

As duas Equações (43) e (44) referem-se à reação transversal do solo sobre a microestaca por unidade de comprimento  $Q$  e módulo de reação do terreno  $E_R$ , respectivamente.

$$Q = E_R \cdot w \quad (43)$$

$$E_R = k \cdot D_{\text{tubular}} \quad (44)$$

Com:

- $w$  = Deslocamento da microestaca no solo (m);
- $E_R$  = Módulo de reação horizontal do terreno (MPa);
- $D_{\text{tubular}}$  = Diâmetro da armadura tubular é considerado para o cálculo da capacidade estrutural da microestaca (m).

### 3.2.2.2. Outras estimativas do módulo de reação horizontal do solo

De fato, é evidente a relevância do método de Winkler para determinar o módulo de reação horizontal do solo, entretanto existem outros processos para estimar o parâmetro em questão. O “*Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera*” desenvolvido pelo Ministério de Fomento (2005), aborda mais duas metodologias: estimativa

por meio de ensaios pressiométricos e por meio de correlação com a constante de proporcionalidade.

Para o primeiro método, é necessário dispor do valor do módulo pressiométrico  $E_M$  para realizar a estimativa por meio da Equação (45):

$$E_R = E_M \cdot \frac{6}{\frac{4}{3} \cdot (2,65)^{\alpha_p} + \alpha_p} \tag{45}$$

Com:

- $E_R$  = Módulo de reação horizontal do solo (MPa);
- $E_M$  = Módulo pressiométrico (MPa);
- $\alpha_p$  = Coeficiente dependente do tipo de solo e da pressão limite do solo.

O coeficiente  $\alpha_p$  pode ser verificado por meio da Tabela 16.

Tabela 16 – Coeficiente  $\alpha_p$ . (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005)

Tipo de Solo	TURFA		ARGILAS		LIMOS		ARENAS		ARENAS E GRAVAS	
	$\alpha_p$	$\frac{E_M}{P_{limite}}$	$\alpha_p$	$\frac{E_M}{P_{limite}}$	$\alpha_p$	$\frac{E_M}{P_{limite}}$	$\alpha_p$	$\frac{E_M}{P_{limite}}$	$\alpha_p$	$\frac{E_M}{P_{limite}}$
<b>Sobre consolidado</b>	-	>16	1	>14	2/3	>12	1/2	>10	1/3	
<b>Normalmente consolidado</b>	1	9-16	2/3	8-14	1/2	7-12	1/3	6-10	1/4	
<b>Alterado ou remoldado</b>	-	7-9	1/2	5-8	1/2	5-7	1/3	-	1/4	

Apesar de não ser escopo da dissertação, vale ressaltar que para as rochas os valores de  $\alpha_p$  adotados estão entre 1/3 e 2/3, para condição “muito fraturada” e “levemente fraturada”, respectivamente. O segundo método, supõe que o módulo de reação do solo depende da profundidade  $z$  e da constante de proporcionalidade  $k_h$  que pode ser obtido por meio da compacidade das areias e a situação do nível freático do solo. A Equação (46) descreve o segundo método e a Tabela 17 logo após demonstra os valores para  $k_h$ .

$$E_R = k_h \cdot z \tag{46}$$

Tabela 17 – Coeficiente  $k_h$ . (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005)

Compacidade das areias	Nível Freático	
	Acima	Abaixo
Muito fofa	1,0	0,6
Fofa	2,0	1,2
Média	5,0	3,0
Densa	10,0	6,0
Muito densa	20,0	12,0

### 3.2.3. CARGA CRÍTICA DE ENCURVADURA

#### 3.2.3.1. Método geométrico de Euler (1936)

O Método Geométrico de Euler é apresentado por Stephen P. Timoshenko e J. N. Goodier (1936) em seu livro “*Theory of Elasticity*”. Timoshenko e Gere (1985) também abordam de forma mais clara o método no livro “*Theory of Elastic Stability*” e utiliza a Equação de Flexão de uma Viga Plana para simular uma microestaca em compressão, essa metodologia considera o solo envolvente no elemento estrutural, portanto o módulo de reação do subsolo  $E_R$ , juntamente com a geometria e rigidez a flexão da microestaca influencia na determinação do número de meias-ondas, e conseqüentemente a carga crítica de Euler será influenciada. A Figura 24 mostra o modelo estrutural que é utilizado na formulação.

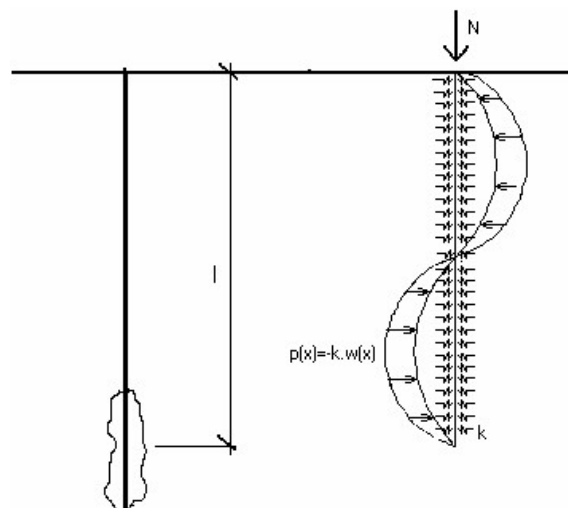


Figura 24 - Concepção do modelo geométrico de Euler (Geo5, 2020).

De acordo com a imagem acima, a estrutura vertical a esquerda representa uma microestaca que possui uma carga vertical aplicada, a estrutura possui uma deformada com duas meias-ondas e o solo ao lado é modelado como uma fundação elástica tipo Winkler, ou seja, como um conjunto de molas distribuídas linearmente ao longo do eixo da microestaca. Do ponto

de vista físico, a combinação entre a carga axial e a resistência do solo determina a carga crítica de encurvadura. O sistema é governado pela Equação (47) diferencial de equilíbrio da viga sobre base elástica com carga axial.

$$EI \frac{d^4 w}{dx^4} + N \frac{d^2 w}{dx^2} + kw = 0 \quad (47)$$

Onde:

- EI = Rigidez a flexão da microestaca;
- N = Carga axial;
- k = Constante de Winkler;
- w = Deslocamento da microestaca, pode ser representado pela letra y.

Timoshenko e Gere (1985) descreve nas primeiras páginas do livro todo o processo para encontrar a equação diferencial, entretanto em vez de utilizar a constante de Winkler para simular uma fundação/solo envolto, o autor usa uma carga distribuída  $q(x)$ , conforme pode ser observado na Figura 25.

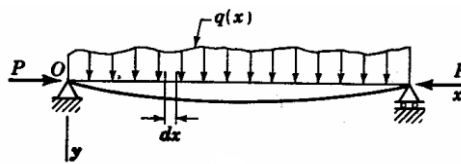


Figura 25 - Viga envolta por um solo de Winkler (Timoshenko e Gere, 1985).

As relações entre força axial, esforço de corte e momento fletor são obtidas com base no equilíbrio do elemento. Somando as forças na direção vertical, conforme as Equações (48) e (49):

$$-V + q \cdot dx + (V + dV) = 0 \quad (48)$$

$$q = \frac{dV}{dx} \quad (49)$$

Considerando um momento no ponto “n” e admitindo que ângulo entre a viga flexionada e o eixo horizontal é pequeno, tem-se a Equação (50):

$$M + q \cdot dx \cdot \frac{dx}{2} + (V + dV)dx - (M + dM) + P \cdot \frac{dy}{dx} dx = 0 \quad (50)$$

Desprezando termos de segunda ordem:

$$V = \frac{dM}{dx} - P \cdot \frac{dy}{dx} \quad (51)$$

Se os efeitos de deformação de corte e encurtamento do eixo de viga forem desprezados, a expressão para a curvatura do eixo da viga é:

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = -M \quad (52)$$

Ao combinar as Equações (51) e (50), obtêm-se duas alternativas da equação diferencial, uma delas é utilizada como representação do modelo geométrico de Euler.

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} + P \frac{dy}{dx} = -V \quad (53)$$

$$EI \frac{d^4y}{dx^4} + N \frac{d^2y}{dx^2} = q \quad (54)$$

Com a resolução/manipulação da Equação diferencial de 4ª ordem (54) tem-se uma expressão com quatro constantes, que pode ser expressa pela Equação (55):

$$w(x) = C_1 \cos(Ax) + C_2 \sin(Ax) + C_3 \cos(Bx) + C_4 \sin(Bx) \quad (55)$$

Com:

$$A = \sqrt{\frac{N}{EI} + \sqrt{\left(\frac{N}{EI}\right)^2 - \frac{k}{EI}}} \quad (56)$$

$$B = \sqrt{\frac{N}{EI} - \sqrt{\left(\frac{N}{EI}\right)^2 - \frac{k}{EI}}} \quad (57)$$

Ao estabelecer 2 condições de contorno (base encastrada-topo livre e base encastrada-topo encastrado) para as constantes, obtêm-se a força crítica com o módulo de reação horizontal do solo por meio da Equação (58)

$$N_{cr} = E_i \cdot I_i \cdot \frac{\pi^2}{L_{efetivo}^2} \cdot n^2 + E_r \cdot \frac{L_{efetivo}^2}{\pi^2} \cdot n^{-2} \quad (58)$$

Com:

- $N_{cr}$  = Carga crítica de encurvadura/flambagem (kN);
- $E_i I_i$  = Rigidez à flexão ideal da microestaca (betão + aço) – (kNm<sup>2</sup>);
- $L_{efetivo}$  = Comprimento efetivo, considera o comprimento livre da microestaca + metade do comprimento da raiz (m);
- $n$  = Número de meia onda;
- $E_r$  = Reação do solo na direção horizontal (kN/m<sup>2</sup>);

O número de meia onda é obtido por meio de uma equação derivada a partir do critério de minimização da carga crítica de encurvadura lateral para Microestacas envoltas em um meio elástico modelado com base de Winkler. Ao considerar as parcelas da equação referente a rigidez e a resistência do solo como constante pode-se aplicar uma derivada em função do número de onda. O processo abaixo demonstra todos os passos para obtenção da Equação (58) e (59).

$$N_{cr} = (\text{rigidez}) \cdot n^2 + (\text{solo}) \cdot n^{-2} \quad (59)$$

Com:

- $\text{Rigidez} = E_i \cdot I_i \cdot \frac{\pi^2}{L_{efetivo}^2}$ ;
- $\text{Solo} = E_r \cdot \frac{L_{efetivo}^2}{\pi^2}$ .

Processo de derivação da Equação (59):

$$\frac{dN_{cr}}{dn} = 2(\text{rigidez})n - 2(\text{solo})n^{-3} = 0 \Rightarrow (\text{rigidez})n - (\text{solo})n^{-3} \Rightarrow n^4 = \frac{\text{rigidez}}{\text{solo}}$$

Com o processo de derivação finalizado basta substituir os valores das parcelas de “rigidez” e “solo”, sendo assim é possível encontrar a Equação (60), que descreve o número de meias ondas:

$$n = \frac{L_{efetivo}}{\pi} \cdot \sqrt[4]{\frac{E_r}{E_i \cdot I_i}} \quad (60)$$

O modelo de Winkler descreve a Equação (44) para a reação horizontal do solo, conforme visto na seção 3.2.2.1 destinada a influência do solo na capacidade estrutural.

$$E_R = k_h \cdot D_{\text{tubular}} \quad (44)$$

Em certos casos, as microestacas podem apresentar uma parte de seu comprimento livre acima da superfície do terreno, sendo assim quando se tem esse cenário é necessário reduzir os valores do número de meias ondas e reação horizontal do solo, por meio das Equações (61) e (62):

$$n_{\text{red}} = \frac{L_{\text{cabeça}}}{L_{\text{efetivo}}} + \left(1 - \frac{L_{\text{cabeça}}}{L_{\text{efetivo}}}\right) \cdot n \quad (61)$$

$$E_{R,\text{red}} = E_R \cdot \left(1 - \frac{L_{\text{cabeça}}}{L_{\text{efetivo}}}\right) \quad (62)$$

Para cada condição de contorno a equação do Método Geométrico de Euler vai se comportar diferente. Portanto, para os cálculos é possível determinar o comportamento da microestaca em duas situações:

- Condição rótula – rótula:

$$N_{\text{cr}} = E_i \cdot I_i \cdot \frac{\pi^2}{L_{\text{efetivo}}^2} \cdot n_{\text{red}}^2 + E_{r,\text{red}} \cdot \frac{L_{\text{efetivo}}^2}{\pi^2} \cdot n_{\text{red}}^{-2} \quad (63)$$

- Condição rótula – apoio fixo

$$N_{\text{cr}} = E_i \cdot I_i \cdot \frac{2\pi^2}{L_{\text{efetivo}}^2} \cdot n_{\text{red}}^2 + E_{r,\text{red}} \cdot \frac{L_{\text{efetivo}}^2}{2\pi^2} \cdot n_{\text{red}}^{-2} \quad (64)$$

### 3.2.3.2. Método de Jiménez Salas (1980)

O método de proposto por José Antonio Jiménez Salas foi descrito em seu livro “*Geotecnia y Cimientos III*” de 1980 e sua proposta para calcular a carga crítica de encurvadura começa a ser explicada no capítulo 3, o Ministério de Fomento também comenta sobre a metodologia no livro “*Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes em obras de carretera*” de 2005. Como é perceptível a teoria de Sala é extremamente relevante e abordada em vários livros. Inicialmente, conforme os autores mencionam o efeito de encurvadura por meio do cálculo da resistência a compressão da microestaca deve ser verificada através de uma Inequação (2) que sugere uma instabilidade estrutural.

$$\frac{I_{aço}}{A_{Pr}^2} \leq \frac{f_{yd}^2}{4KDE_{aço}} \quad \text{Inequação (2)}$$

Com:

- $I_{aço}$  = Momento de inércia da seção do aço ( $m^4$ );
- $f_{yd}$  = Resistência de cálculo do aço (MPa);
- $E_{aço}$  = Módulo de elasticidade do aço (MPa);
- $KD$  = Valor dependente da resistência unitária do terreno à penetração estática  $q_c$  – (MPa);

O valor  $KD$  pode ser obtido por meio da Tabela 18.

Tabela 18 - Fator  $KD$ . (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005)

Tipo de terreno	Fator $KD$ (MPa)
Solos coesivos	$0,29 \cdot q_c$
Solos arenosos, secos e úmidos	$0,40 \cdot q_c^2$
Solos arenosos submersos	$0,28 \cdot q_c^2$

- $A_{Pr}$  = Seção reduzida da armadura tubular, essa consideração de redução da espessura da parede é devido ao processo de corrosão ( $m^2$ );

A seção reduzida pode ser calculada por meio da Equação (65), semelhante a Equação (31) referente a vida útil da microestaca demonstrada na seção 3.2.1.1, entretanto sem o fator de redução.

$$A_{Pr} = \frac{\pi}{4} \cdot [(d_e - 2 \cdot r_e)^2 - d_i^2] \quad (65)$$

Com:

- $d_e$  = Diâmetro externo da armadura tubular (m);
- $d_i$  = Diâmetro interno (m);
- $r_e$  = Espessura da perda por corrosão (m).

A carga crítica de encurvadura é determinada pela Equação (66):

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{E_{aço} \cdot I_{aço}}{(L_{livre} + L_{ef})^2} \cdot A \quad (66)$$

Com:

- $N_{cr}$  = Carga crítica de encurvadura/flambagem (kN);
- $E_{aço} \cdot I_{aço}$  = Rigidez à flexão do aço (kNm<sup>2</sup>);
- $L_{livre}$  = Comprimento livre da microestaca acima da superfície do solo (m);
- $L_{ef}$  = Comprimento de extremidade fictícia (m);
- $A$  = Constante dependente do tipo de restrição na cabeça da microestaca;

A constante pode ser obtida por meio da Tabela 19.

Tabela 19 - Fator A (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005).

Restrição na cabeça	A
Articulada	2,045
Livre	0,250
Encastrada	4,000
Sem rotação e com deslocamento livre	1,000

O comprimento efetivo que minora a rigidez à flexão da carga crítica é composto, conforme visto na fórmula, pelo comprimento livre da microestaca que se sobressai da superfície do solo somado com o comprimento de extremidade fictícia, que pode ser determinado por meio da Equação (67):

$$L_{ef} = 1,2 \cdot f \cdot \sqrt[4]{\frac{3 \cdot E_{aço} \cdot I_{aço}}{E_L}} \quad (67)$$

Nessa fórmula, o coeficiente  $f$  depende da relação entre o módulo de elasticidade do terreno na superfície  $E_0$ , e na profundidade  $L$ , por isso tem-se  $E_L$  que se refere ao módulo de elasticidade ao comprimento total da microestaca, ambos devem ser expressos em MPa. A Tabela 20 mostra os valores das relações.

Tabela 20 - Coeficiente  $f$ . (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005)

$E_0/E_L$	$f$
0,0	1,70
0,5	1,25
1,0	1,00

### 3.2.3.3. Método de Pierre Souche (1984)

A teoria proposta por Pierre Souche em 1984 é bem parecida com o método geométrico de Euler descrito no livro de Timoshenko e Gere “*Theory of Elastic Stability*” de 1936. Souche propõe sua metodologia em seu artigo “*Étude du flambement de pieux partiellement immergés dans offrant latéralement une réaction élastique puré*”. Souche (1984) fornece uma expressão adimensional por meio de uma reformulação da carga crítica de Euler ajustada para estacas parcialmente embutidas.

De acordo com Youssef (2010), Pierre Souche retoma as mesmas hipóteses de outros autores que também desenvolveram métodos para determinar a carga crítica de encurvadura, como Davisson e Robinson (1965), no entanto Souche considera 8 condições de contorno. Os resultados são apresentados sob uma série de ábacos, baseados em dois parâmetros principais que permitem uma relação com a equação adimensional mencionada acima. Sendo o primeiro referente ao número de meias ondas  $m$  e o segundo apenas um parâmetro adimensional  $w$  que correlaciona o comprimento livre com o comprimento total  $L$  do elemento estrutural.

$$m = \frac{L}{\pi} \cdot \sqrt[4]{\frac{E_R}{E_{aço} \cdot I_{aço}}} \quad (68)$$

$$w = \frac{L_{cabeça}}{L} \quad (69)$$

Por meio dos parâmetros acima é possível encontrar um valor de referência do ábaco que irá multiplicar a expressão da carga crítica de Souche, segue a Equação (70):

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{E_{aço} \cdot I_{aço}}{L^2} \cdot F(m, w) \quad (70)$$

Com:

- $F(m, w)$  = Valor de referência do ábaco de Souche em função de  $m$  e  $n$ .

A Figura 26 mostra a concepção da metodologia de Souche.

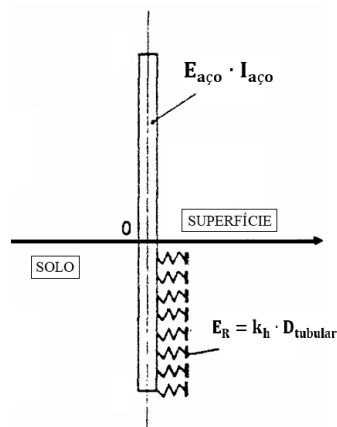


Figura 26 - Estaca parcialmente cravada no solo. (Adaptado de Youssef, 2010)

Os ábacos são compostos por várias curvas que representam a relação entre os dois parâmetros, foram publicados 8 ábacos, com 2 condições na base da microestaca (encastrada ou articulada) e 4 condições na cabeça (livre; com deslocamento lateral sem rotação; articulada ou encastrada). Os ábacos estão disponíveis no ANEXO III – Ábacos de Pierre Souche.

### 3.3. VERIFICAÇÃO DE ACORDO COM OS ESTADOS LIMITES

O *software* Geo5 utiliza três verificações com base nos coeficientes de redução do Eurocódigo 3 e 7: estabilidade interna da seção, capacidade de suporte da seção transversal e capacidade de suporte da raiz. A estabilidade interna da seção deve respeitar o critério determinado pela Inequação (3):

$$N \leq \frac{N_{cr}}{\gamma_{mf}} \quad \text{Inequação (3)}$$

Onde:

- $N_{cr}$  = Carga crítica de encurvadura (kN);
- $\gamma_{mf}$  = Coeficiente de redução da força crítica.

A norma NP EN 1993-1-1 (2005) não fornece um valor diretamente para o coeficiente de redução da força crítica, pelo fato de aplicar um fator de redução devido a imperfeição geométrica do elemento estrutural. Sendo assim o ideal seria comparar a força normal de compressão proveniente das ações  $N_{Ed}$  com a resistência de cálculo à encurvadura do elemento comprimido  $N_{b,Rd}$ , conforme é descrito pelo Eurocódigo em questão.

Capacidade de suporte da seção transversal deve respeitar o critério da Inequação (4):

$$\sigma_{aço} \leq \frac{R_{aço}}{\gamma_{ss}} \quad \text{Inequação (4)}$$

Onde:

- $\sigma_{aço}$  = tensão no aço, calculada de acordo com o método de carregamento (MPa);
- $\gamma_{ss}$  = Coeficiente de redução da resistência do aço.

De modo geral, o Estado Limite Último realiza combinações (*Ações + Parâmetros + Resistente*) para aumentar a segurança nos valores. Sendo assim, existem outros parâmetros que podem ser minorados para efeito do Estado Limite Último de Rotura Estrutural (STR) ou Rotura Geotécnica (GEO), nesse caso deve-se verificar o tipo de combinação de ação que foi utilizado. Diante disso a norma NP EN 1997-1 (2010) fornece uma tabela referente aos coeficientes parciais de minoração do ângulo de atrito e coesão, conforme pode ser visto na Figura 27.

Parâmetro do solo	Símbolo	Conjunto	
		M1	M2
Ângulo de atrito interno em tensões efectivas <sup>a)</sup>	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesão em tensões efectivas	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistência ao corte não drenada	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Resistência à compressão uniaxial	$\gamma_{qu}$	1,0	1,4
Peso volúmico	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0
<sup>a)</sup> Este coeficiente é aplicado a $\tan \varphi'$			

Figura 27 - Coeficientes parciais de redução dos parâmetros (NP EN 1997-1, 2010).

As combinações para a capacidade resistente para estacas instaladas com extração de solo são fornecidas pelo Eurocódigo 7 no Anexo A, tabela A.6 e podem ser visualizadas na Figura 28.

Capacidade resistente	Símbolo	Conjunto			
		R1	R2	R3	R4
Na ponta	$\gamma_b$	1,25	1,1	1,0	1,6
Lateral (compressão)	$\gamma_s$	1,0	1,1	1,0	1,3
Total/combinada (compressão)	$\gamma_t$	1,15	1,1	1,0	1,5
Lateral (tracção)	$\gamma_{st}$	1,25	1,15	1,1	1,6

Figura 28 - Coeficientes parciais de redução das capacidades resistentes (NP EN 1997-1, 2010).

Por fim, a capacidade de suporte da raiz da microestaca deve seguir um dos critérios de verificação de acordo com a NP EN 1997-1 (2010):

$$N_{Ed} \leq \frac{R_{total,k}}{\gamma_t} \quad \text{Inequação (5)}$$

$$N_{Ed} \leq R_{total,d} = \frac{R_{lateral,k}}{\gamma_s} + \frac{R_{ponta,k}}{\gamma_b} \quad \text{Inequação (6)}$$

Onde:

- $N_{Ed}$  = Carga proveniente das combinações de ações (kN);
- $R_{total,k}$  = Resistência total mobilizada pela raiz da microestaca (kN);
- $R_{lateral,k}$  = Resistência lateral mobilizada pela raiz da microestaca (kN);
- $R_{ponta,k}$  = Resistência de ponta da raiz (kN);
- $\gamma_s$  = Coeficiente de redução da resistência lateral;
- $\gamma_b$  = Coeficiente de redução da resistência de ponta;
- $\gamma_t$  = Coeficiente de redução da resistência total;

A calda/argamassa de cimento também deve possuir um critério de redução da resistência para o Estado Limite Último. Como nenhuma norma especifica diretamente um fator de redução da calda/argamassa, utiliza-se como base a norma NP EN 1992-1-1 (2010) para betão, por mais que a resistência dos materiais podem não ser parecidas. Na referida norma pode-se encontrar o Quadro 2.1N na seção 2.4.2.4 que fornece os fatores com base em duas situações de projeto. Conforme pode ser visualizado na Figura 29.

Situações de projecto	$\gamma_c$ para betão	$\gamma_s$ para aço de armaduras para betão armado	$\gamma_s$ para aço de armaduras de pré-esforço
Persistentes Transitórias	1,5	1,15	1,15
Acidentais	1,2	1,0	1,0

Figura 29 - Coeficiente parcial relativo ao betão para o Estado Limite Último (NP EN 1992-1-1, 2010).

### 3.4. VERIFICAÇÃO DE ACORDO COM O FATOR DE SEGURANÇA

A verificação de acordo com o fator de segurança é um procedimento adotado também pelo *software* Geo5, tem o mesmo objetivo do estado limite. Entretanto, não é necessário minorar a resistências dos materiais e dos parâmetros de resistência do solo, como é realizado no Eurocódigo. Sendo assim, nessa etapa é estipulado um fator de segurança de acordo com uma norma, que nesse caso será utilizada a norma brasileira, para: carga crítica de encurvadura, tensão de compressão no aço e resistência total da raiz. Diante disso, o primeiro critério relaciona a força crítica com a força normal:

$$\frac{N_{cr}}{N} > FS_{força} \quad \text{Inequação (7)}$$

Onde:

- $N$  = Carga característica (kN);
- $N_{cr}$  = Carga crítica de encurvadura (kN);
- $FS_{força}$  = Fator de segurança para carga crítica;

O segundo critério relaciona a resistência do aço normalizada com a tensão de compressão:

$$\frac{f_{yk}}{\sigma_{aço}} > FS_{aço} \quad \text{Inequação (8)}$$

Onde:

- $f_{yk}$  = Resistência característica do aço à compressão (MPa);
- $\sigma_{aço}$  = Tensão de compressão no aço (MPa);
- $FS_{aço}$  = Fator de segurança para resistência do aço.

Assim como o Eurocódigo, a norma brasileira adota o sistema de coeficientes parciais de redução dos materiais para o Estado Limite Último (ELU), sendo assim a norma não menciona um fator de segurança global para uma força crítica ou para tensão de compressão no aço. Por fim, a norma ABNT NBR 6122 (2022) aborda sobre a capacidade de carga da uma fundação profunda na seção 8.2.1.2. Sendo assim, o terceiro e último critério de segurança relaciona a força normal máxima com a resistência mobilizada na raiz da microestaca.

$$\frac{R_{total}}{N} > FS_{raiz} = 2,00 \quad \text{Inequação (9)}$$

Onde:

- $R_{total}$  = Resistência total da microestaca (kN);
- $N$  = Carga característica (kN);
- $FS_{raiz}$  = Fator de segurança da raiz da microestaca.

## 4. ESTUDO DE CASO

### 4.1. DESCRIÇÃO DETALHADA

O estudo de caso que direciona os conceitos dessa dissertação refere-se a um projeto de fundações de uma linha de transporte para contentores localizada em uma Zona Industrial. A intervenção envolveu tanto fundações diretas quanto fundações profundas como a microestaca, sendo estas aplicadas em situações geotécnicas desfavoráveis, principalmente na base dos pilares localizados no topo do talude. Com base nisso, surge a justificativa da solução com microestacas, conforme mencionado na seção 2.2.2 deste trabalho, a versatilidade é uma característica importante. A presença de um talude e a heterogeneidade do perfil geotécnico (seção 4.2) impuseram restrições à utilização de fundações diretas. Sendo assim, a adoção das microestacas em certos pontos críticos surge com o objetivo de: garantir a estabilidade global da fundação, assegurar a transferência de cargas verticais adequada e minimizar recalques diferenciais entre pilares.

Conforme pode ser observado na Figura 30, o estudo de caso apresenta ao todo 10 fundações, e para compor o projeto das linhas de transporte tem-se ainda a presença de perfis metálicos, que por mais que não seja o escopo da dissertação dimensioná-los, é essencial mencioná-los para favorecer no detalhamento do projeto. O perfil HE-160A é utilizado como viga, enquanto o perfil IPE-300 é usado como pilar metálico para direcionar a carga vertical as 6 primeiras fundações (1A, 1B, 2A, 2B, 3A e 3B) e o perfil IPE-360 compõe o pilar que se conecta as outras fundações (4A, 4B, 5A e 5B). Ressalta-se que o esquema do projeto foi fornecido pelo cliente, sendo assim não tem como apresentar uma descrição mais detalhada de todo o processo.

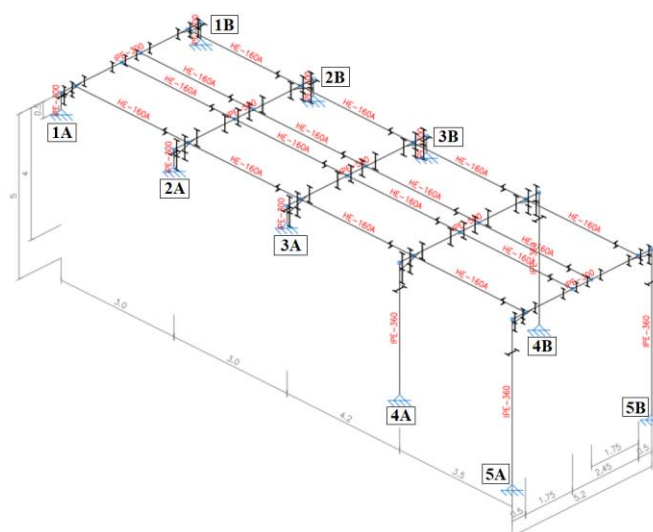


Figura 30 - Linha de transporte de contentores

## 4.2. CORRELAÇÃO ENTRE OS ENSAIOS E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

O processo de conhecimento do solo do estudo de caso foi realizado por meio do ensaio Penetrometro Dinâmico (DP - *Dinamic probing*). O ensaio consiste na determinação do número de pancadas de um pilão com uma determinada massa em queda livre em uma certa altura, essa execução promove um comprimento de penetração, essas características permitem uma classificação do ensaio (Fauzi *et. al*, 2020). No projeto foi realizado o PDM (Penetrometro Dinâmico Médio), portanto a massa do pilão foi de 30 kg, com 50 cm de altura em queda livre e a energia por pancada de 150 kJ/m<sup>2</sup>, permitindo um comprimento de penetração de 10 cm. Além disso, o cone deve ter uma área da base de 10 cm<sup>2</sup> e ângulo no vértice de 90°.

Entretanto como pode ser visualizado na seção 3.1, a maioria dos métodos de cálculo utilizam como base o Ensaio de Penetração Padrão (SPT – *Standard penetration test*). Ademais alguns métodos utilizam os parâmetros de resistência do solo que foram estimados por meio do SPT. Sendo assim, é necessário utilizar correlações empíricas para obter o índice de penetração. Os autores Jarushi *et al* (2020) mencionam que existe uma correlação proposta por Muromachi *et al* (1982) que pode ser descrito por meio da Equação (71).

$$N_{PDM} = 1,15 \cdot N_{SPT} \quad (71)$$

Existe uma outra correlação empírica estabelecida por Afonso *et al* (2016) por meio de 15 ensaios realizados na região de Bragança em Portugal que pode ser visualizada por meio da Equação (72):

$$N_{SPT} = 0,96 \cdot N_{DPSH} \quad (72)$$

Consoante ao que foi exposto no segundo parágrafo da seção 4.1 e com base nas informações do parágrafo anterior, a heterogeneidade do perfil geotécnico pôde ser identificada por meio de uma investigação geotécnica elaborada com base nos resultados dos ensaios realizados no local com o Penetrômetro Dinâmico Médio (PDM). A Figura 31 ilustra a localização das sondagens.

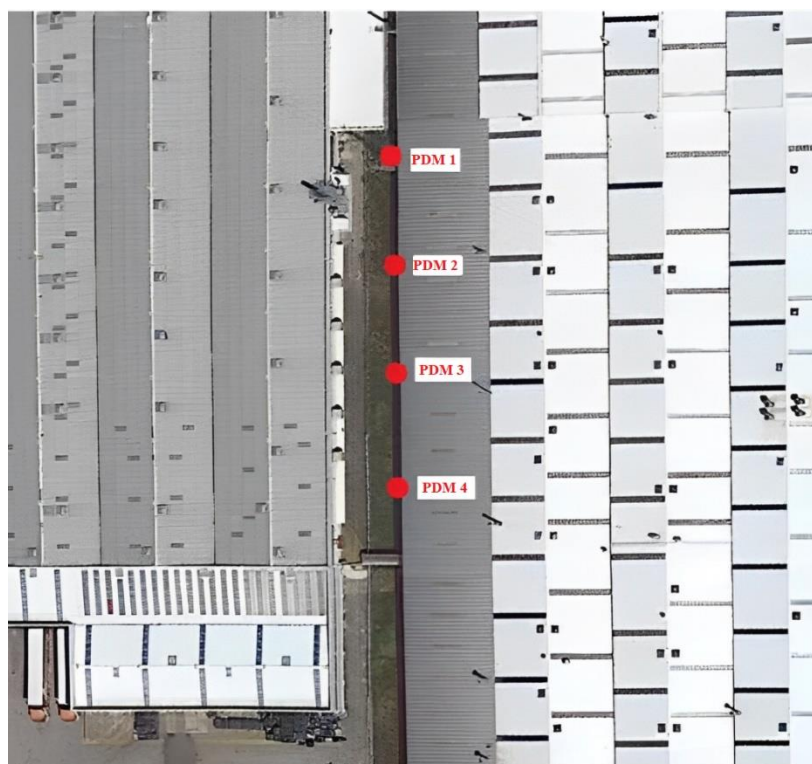


Figura 31 - Localização das sondagens.

A heterogeneidade do solo pode ser evidenciada pelos dados geotécnicos associados à sondagem PDM 1 no Quadro 4.

Quadro 4 - Informações geológico-geotécnicas do estudo de caso.

Zona Geotécnica	Profundidade (m)	Nº pancadas médio – N <sub>SPT</sub>	Resistência de ponta média (MPa)	Tensão máx. admissível (kPa)	Tipo de solo
ZG4	0,00 a 5,10	0	0	0	Aterro
ZG3	5,10 a 8,00	21	7	100	Areias alteradas
ZG2	8,00 a 10,50	38	13	200	Areias finas
ZG1	10,50 a 11,90	54	16	250–300	Areias médias

A partir dos resultados, determinaram-se os valores de resistência de ponta  $R_p$  e tensão máxima admissível  $\sigma_{adm}$ , ao relacionar os dados do ensaio SPT obtido pela Equação (72) com as correlações do Quadro 5. O número de pancadas do ensaio permitiu uma estimativa da natureza do solo, o relatório geotécnico do estudo de caso não fornece informações que permitem caracterizar o tipo de solos nas zonas geotécnicas. Sendo assim, sua classificação utilizada no Quadro 4 é indicativa e foi realizado uma verificação da compatibilidade do solo admitido, antes da execução das microestacas. Ademais, considerar o solo dentro do grupo de

areias permite a adoção de uma situação sem a presença da coesão, favorecendo a condição drenada.

Quadro 5 - Correlações dos resultados dos ensaios SPT com ensaio CPT e as características de resistência dos terrenos (Relatório do Estudo de Caso).

Natureza do Solo	N (SPT)	Rp (10 <sup>4</sup> Pa)	cu (10 <sup>6</sup> Pa)	C' (10 <sup>4</sup> Pa)	φ' (°)
Lodos e argilas muito moles e médias	1	1	0.1	—	14.7
	2	2	0.2		18.7
	4	4		0.4	0.08
		8	0.8	26.7	
	24	0.53			
Argilas siltosas ou arenosas	15	45	1.0	0.22	30.3
	30	90	1.2	0.52	34.3
			2.0		
60	180	4.0	1.12	38.3	
Areias argilosas	4	16	—	—	32.0
		40			
	10	120	0.04	0.03	37.3
	30		0.17	0.17	43.6
	50	200	0.31	0.31	46.6
	60	240	0.37	0.37	47.6
Areias finas a médias, siltosas ou lodosas	4	20	—	—	26.7
	10	50			32.0
	30	150			38.3
	50	250			41.3
	60	300			42.3
Areias médias a grosseiras com seixo	4	24	—	—	32.0
	10	60			37.3
	30	180			43.6
	50	300			46.6
	60	360			47.6

As fundações diretas foram dimensionadas com base na regulamentação em vigor, o Eurocódigo 7, parte 1 (NP EN 1997-1:2010) e com base no relatório geotécnico. Conforme mencionado anteriormente, pela obra estar junta a um talude, optou-se pela utilização de 2 fundações diretas sapatas no pé do talude para evitar uma instabilidade geotécnica. De acordo com a necessidade, foram utilizadas em 8 fundações (conjuntos 1, 2, 3 e 4) poços constituídos por manilhas de betão e enchimento com betão ciclópico na base das sapatas e no coroamento das microestacas. Adicionalmente, foram aplicadas vigas de equilíbrio entre os maciços de coroamento do elemento de reforço para uniformizar os deslocamentos entre os elementos e

garantir a distribuição da reação vertical na base dos pilares, conforme pode ser visualizado na Figura 32.

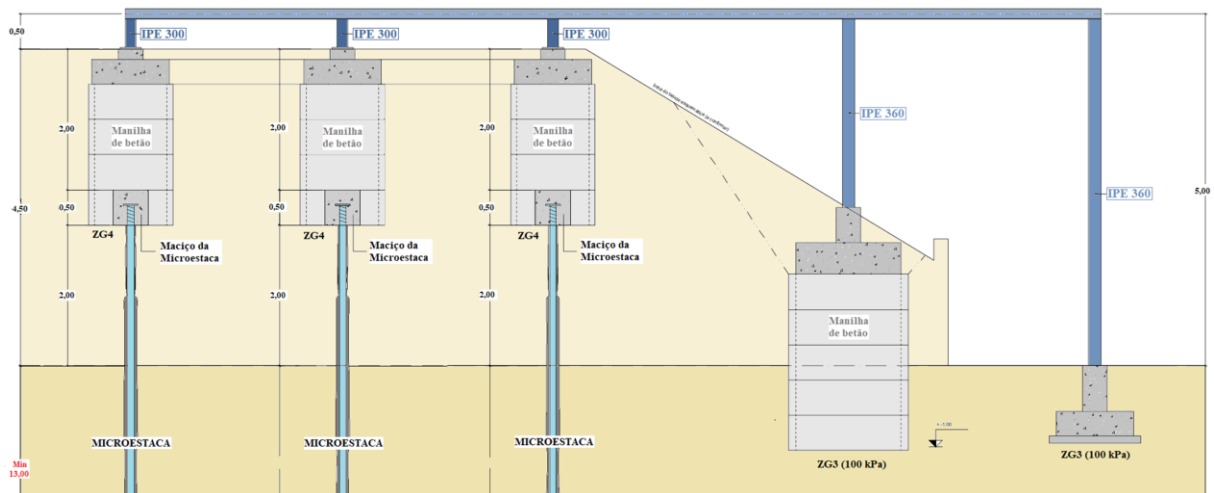


Figura 32 - Detalhamento da seção do estudo de caso.

A Figura 33 demonstra apenas o posicionamento das vigas de equilíbrio, sem fornecer mais informações detalhadas.

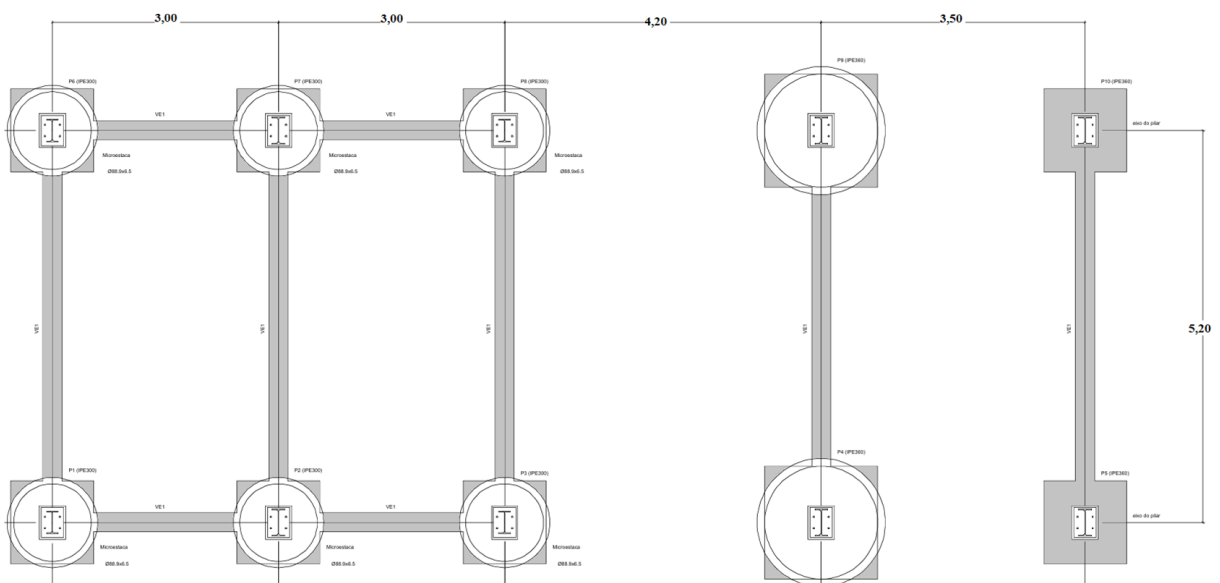


Figura 33 - Posicionamento das vigas de equilíbrio.

No âmbito do presente projeto, os materiais selecionados para a execução das microestacas foram especificados com base em critérios normativos e de desempenho estrutural. O betão utilizado corresponde à classe C25/30, aplicado em todos os elementos estruturais das fundações. Enquanto nos poços foi previsto betão simples com dosagem de 250 kg de cimento por metro cúbico. A armadura interior das microestacas é composta por varão, classificado como A500NR, o qual também é utilizado nas peças de betão armado. Enquanto o tubo metálico da microestaca tem uma tensão de cedência de 595 MPa.

De acordo com o relatório que descreve todo o estudo de caso, as ações nos pilares foram um fornecimento de terceiro. A Figura 34 representa as reações verticais na base nos elementos estruturais, os valores que foram destacados são provenientes dos pilares, sendo o valor mais crítico sobre uma fundação com microestaca 233,19 kN. A conexão entre os pilares e fundações é rotulada, isso será essencial para a validação das ferramentas de cálculo, já que irá definir uma condição de contorno para a determinação da carga crítica de encurvadura. Outra questão relevante, é que devido a essa conexão rotulada, não existe transmissão direta de momento fletores para os apoios e as reações horizontais são absorvidas pelas vigas de equilíbrio que unem os maciços de encabeçamento das microestacas. Portanto, apenas a reação vertical será direcionada para a fundação.

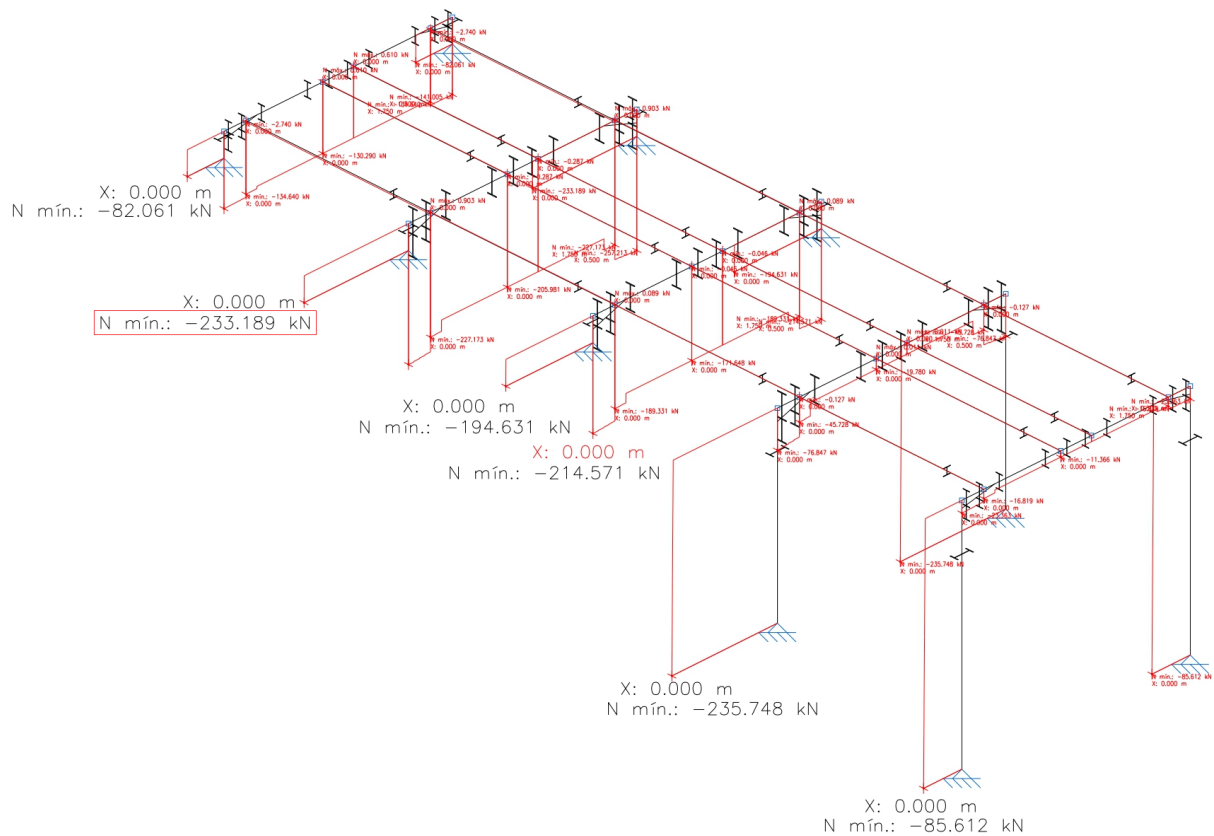


Figura 34 - Reações verticais.

Diversos métodos empregados para a estimativa da resistência lateral de microestacas — comumente associada à capacidade de suporte ao longo da raiz — baseiam-se em parâmetros geotécnicos representativos do solo, como os parâmetros de resistência ao corte e o módulo de elasticidade, além de outras variáveis que refletem o comportamento do maciço terroso em interação com o elemento estrutural. Dada a relevância desses parâmetros no dimensionamento e verificação do desempenho das microestacas, a próxima seção 4.3 será dedicada à descrição

detalhada dos procedimentos adotados para sua estimativa, bem como à apresentação das principais referências bibliográficas e normativas que embasaram tais escolhas metodológicas.

### 4.3. ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS GEOTÉCNICOS DO SOLO

Essa seção é destinada a estimativa de parâmetros que não são fornecidos pelos autores dos métodos de cálculo da capacidade de resistência da raiz da microestaca, como o peso específico, ângulo de atrito, coesão e módulo de elasticidade do solo. A determinação dessas variáveis teve como base os valores correlacionados entre os ensaios: PDM e SPT.

#### 4.3.1. PESO ESPECÍFICO

A determinação do peso específico pode ser realizada por meio de ensaios laboratoriais, como o ensaio do frasco de areia ou o uso de cilindros de amostragem, conforme descrito por Das (2016) e Vargas (1977). No entanto, quando não há disponibilidade de ensaios laboratoriais, esse parâmetro pode ser estimado com base em correlações empíricas. Nesse sentido, Godoy (1972) apresenta tabelas que permitem obter o peso específico a partir do índice de resistência à penetração do  $N_{SPT}$ , desde que esse esteja em conformidade com os critérios estabelecidos na ABNT NBR 6484 (2020), como pode ser observado na Tabela 21 adaptada.

Tabela 21 - Peso específico de acordo com ensaio SPT. (Godoy, 1972)

Tipo de solo	$N_{SPT}$	Consistência	Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )		
Argilosos	≤ 2	Muito mole	13		
	3 a 5	Mole	15		
	6 a 10	Média	17		
	11 a 19	Rija	19		
	≥ 20	Dura	21		
Tipo de solo	$N_{SPT}$	Compacidade	Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )		
Arenosos	< 5	Fofa			
	5 a 8	Pouca compacta	16	18	19
	9 a 18	Medianamente compacta	17	19	20
	19 a 40	Compacta	18	20	21
	> 40	Muito compacta			
			Seca	Úmida	Saturada

#### 4.3.2. COESÃO E ÂNGULO DE ATRITO

Os parâmetros de resistência geralmente são obtidos por meio de ensaios, para coesão tem-se o ensaio de Penetração de Cone (*Vane Test*) e para o ângulo de atrito tem-se o ensaio de Adensamento (Edométrico) que não fornece diretamente o parâmetro, mas auxilia a compreender a compressibilidade do solo. Os ensaios de Cisalhamento Direto e Triaxial são

muito utilizados na obtenção dos parâmetros, principalmente esse último (Bowles, 1996; Terzaghi et al, 1996). É interessante ressaltar que deve ser utilizada a condição não drenada para solos coesivos saturados, ou seja, anulando o ângulo de atrito e aplicar uma condição drenada para solos granulares nesse caso a coesão é zero, assim os fatores da capacidade de carga serão dependentes do ângulo de atrito (Berberian, 2017).

Na ausência de ensaios de laboratório, assim como o peso específico, é possível estimar os valores por meio de formulações. Para a coesão Teixeira e Godoy (1996) sugerem uma fórmula baseada também no índice de resistência à penetração, para uma condição não drenada tem-se a Equação (73).

$$c_u = c = 10 \cdot N_{SPT} \tag{73}$$

Em que:

- $c_u$  = Resistência não drenada ao corte (kPa);
- $c$  = Coesão (kPa);
- $N_{SPT}$  = Índice de resistência à penetração do ensaio SPT.

O ângulo de atrito, por sua vez, apresenta mais referências para determinar o seu valor, a maioria das formulações também consideram o índice de resistência à penetração como uma variável essencial no cálculo. Dentre os autores, destacam-se Godoy (1983), Teixeira (1996), Hatakana e Uchida (1996), Parry (1977), Peck, Hanson e Thornburn (1974) e Wolff (1989). Outros autores também fornecem os valores de ângulo de atrito por meio de gráficos, como o Meyerhof (1956), Peck et al. (1953), Stroud (1989) e Décourt (1989). A Tabela 22 sintetiza e demonstra as formulações mencionadas, enquanto a Figura 35 demonstra os diagramas gráficos dos quatro últimos autores.

Tabela 22 - Formulário para determinação do ângulo de atrito (Diversos autores).

Autor	Correlação $\phi'$ (º)
Peck, Hanson e Thornburn (1974) Wolff (1989)	$\phi' = 27,1 + 0,3 \cdot (N_1)_{60} - 0,00054 \cdot (N_1)_{60}^2$
Parry (1977)	$\phi' = 25 + 28 \cdot \left(\frac{N_{SPT}}{\sigma'_{v0}}\right)^{0,5}$
Godoy (1983)	$\phi' = 28 + 0,4 \cdot N_{SPT}$
Teixeira (1996)	$\phi' = 15 + \sqrt{20 \cdot N_{SPT}}$
Hatakana e Uchida (1996)	$\phi' = 20 + \sqrt{15,4 \cdot N_{60}}$

Parâmetros/variáveis identificadas:

- $\phi' = \hat{\text{Ângulo de atrito interno efetivo do solo}} (^{\circ})$ ;
- $(N_1)_{60} = \hat{\text{Número de pancadas do ensaio SPT corrigido devido a tensão vertical efetiva}}$ ;
- $N_{\text{SPT}} = \hat{\text{Índice de resistência à penetração SPT}}$ ;
- $N_{60} = \hat{\text{Índice de resistência à penetração com 60\% de eficiência mecânica padronizada internacionalmente}}$ ;
- $\sigma'_{v0} = \hat{\text{Tensão vertical efetiva (kPa)}}$ .

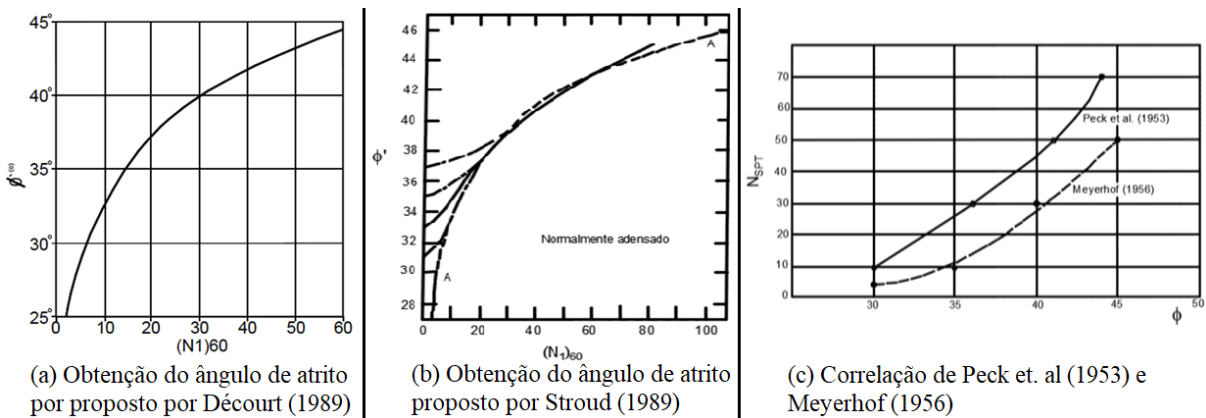


Figura 35 - Diagramas para determinação do ângulo de atrito (Diversos autores).

#### 4.3.3. MÓDULO DE ELASTICIDADE

O módulo de Elasticidade pode ser obtido de várias correlações, tanto para as areias quanto para argilas, os autores Stroud (1988), Imai e Tonouchi (1982) e Ohsaki e Iwasaki (1973) fornecem expressões que permitem determinar o módulo de elasticidade do solo. Suas metodologias são parecidas, por meio de um diagrama que correlaciona log de distorção do corte com rigidez do solo. Para as areias, as curvas representam o comportamento do solo em relação a rigidez, isso pode ser influenciado pela compactidade e estruturação. Para as argilas é utilizado o índice de plasticidade, conforme demonstrado na Figura 36. Os autores Seed e Idris (1970) destacam que o intervalo de distorção ideal é em torno de 0,1% (-1) para areias, permitindo um valor de 0,3 para  $G/G_{\text{máx}}$  ao considerar uma granulometria média. Enquanto para as argilas deve ser verificado o índice de plasticidade, a distorção pode ser de 0,001% (-4) a 0,1% (-1).

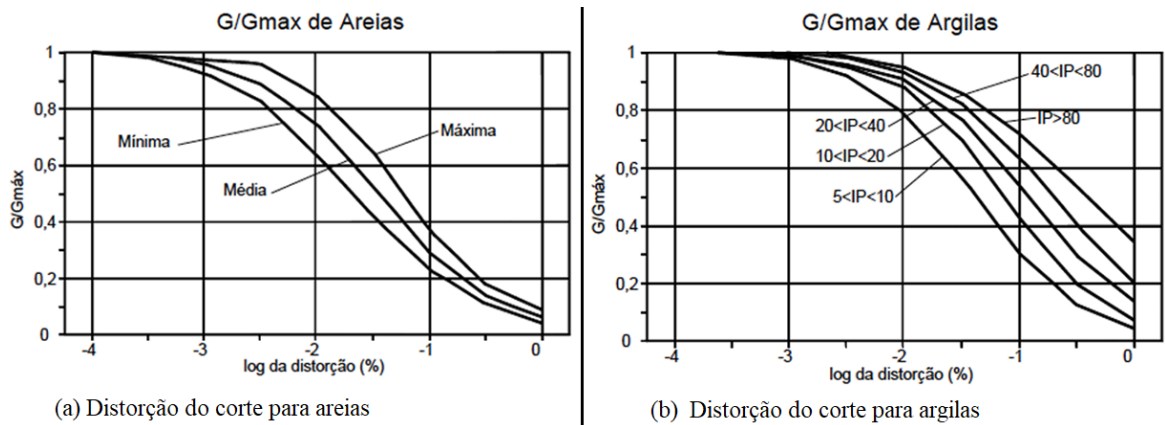


Figura 36 - Distorção do corte para areias e argilas (Seed e Idris, 1970).

Com a rigidez máxima do solo determinada, os autores contribuem com suas formulações para calcular a rigidez inicial que posteriormente será utilizada na Equação (76) do módulo de elasticidade, destacando que o valor do coeficiente de Poisson  $\nu$  geralmente é igual 0,3. As Equações (74) e (75) descrevem correlações.

Ohsaki e Iwasaki (1973):

$$G_0 = 10,4 \cdot N_{60}^{0,8} \quad (74)$$

Stroud (1988), Imai e Tonouchi (1982):

$$G_0 = 5,8 \cdot N_{60} \quad (75)$$

Módulo de Elasticidade (MPa):

$$E = 2 \cdot (1 + \nu) \cdot 5,8 \cdot N_{60} \quad (76)$$

#### 4.3.4. SÍNTESE DAS INFORMAÇÕES DO ESTUDO DE CASO

Para garantir uma coerência dos dados/informações que foram apresentados durante toda a dissertação, a Figura 37 ilustra um quadro que consolida de forma sistemática os principais parâmetros geotécnicos e estruturais utilizados nas análises e dimensionamentos das microestacas. São especificados valores referentes à capacidade geotécnica, bem como parâmetros estruturais. Além disso o quadro contempla as informações sobre as condições de contorno, fatores de segurança e coeficientes de redução parcial de algumas variáveis aplicáveis para uma verificação de segurança em conformidade com as normas. Diante disso, o quadro descreve observações, símbolos e referência de onde os valores foram retirados, com o objetivo de deixar as informações organizadas e permitir uma consulta rápida dos dados.

CAPACIDADE GEOTÉCNICA								
Símbolo	Unidade	Parâmetro	Valor				Referência	Observação
			ZG4	ZG3	ZG2	ZG1		
$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	Peso específico	0	18	18	18	Godoy (1972)	
$\Phi'$	°	Ângulo de atrito efetivo	0	33,15	37,00	41,33	Peck et al. (1974) Wolf (1989)	$\phi' = 27,1 + 0,3 \cdot (N_1)_{60} - 0,00054 \cdot (N_1)_{60}^2$
$c'$	kPa	Coesão efetiva	0	0	0	0	Condição drenada	
ESOLO	MPa	Módulo de elasticidade do solo	0	92,49	140,20	192,52	Stroud (1988) Imai e Tonouchi (1982)	$E = 2 \cdot (1 + \nu) \cdot 5,8 \cdot N_{60}$
Vários	Várias	Atrito superficial lateral	Valores diferentes depende de abacos/tabelas dos autores				Autores dos métodos	
$k_h$	MN/m <sup>3</sup>	Rigidez da mola de Winkler	6,00				Ministério de Fomento (2005)	Parâmetro considerado para "Areia densa"
$p_i$	MPa	Pressão de injeção	0,50				Bustamante e Doix (1985)	Parâmetro variável - estudo paramétrico
DFURO	mm	Diâmetro da raiz	160,00				Relatório do Estudo de Caso	Parâmetro variável - estudo paramétrico
LRAIZ	m	Comprimento da raiz	13,00				Relatório do Estudo de Caso	Parâmetro variável - estudo paramétrico
CAPACIDADE ESTRUTURAL								
DTUBULAR	mm	Diâmetro da armadura tubular	88,90				Relatório do Estudo de Caso e Grupo SONDEO	Parâmetro variável - estudo paramétrico
LLIVRE	m	Comprimento livre	2,00				Relatório do Estudo de Caso e Grupo SONDEO	Parâmetro variável - estudo paramétrico
t	mm	Espessura	6,50				Relatório do Estudo de Caso e Grupo SONDEO	Parâmetro variável - estudo paramétrico
EAO	GPa	Módulo de elasticidade do aço	210,00				Grupo SONDEO	
$f_{yk}$	MPa	Resistência característica do aço	595,00				Grupo SONDEO	
EBETÃO	GPa	Módulo de elasticidade da calda/argamassa	28,00				ABNT NBR 6118 (2014)	$E_{betão} = 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}}$
$f_{ck}$	MPa	Resistência à compressão da calda	25,00				Relatório do Estudo de Caso e NP EN 1992-1-1:2010	Os valores usuais são de 28 a 30 MPa. Entretanto, o valor está de acordo com NP EN 14199 (2015) e FHWA (2005)
CONDIÇÕES DE CONTORNO E VERIFICAÇÕES DE SEGURANÇA								
$N_{Ed}$ N	kN	Força normal de compressão	233,19				Fornecedor do Relatório Técnico	Carga do pilar mais solicitado
$\gamma_{mf}$	-	Coefficiente de redução da força crítica	1,00	1,00			Sem referência	A norma NP EN 1993-1-1 (2005) não prevê um coeficiente de redução, por utilizar o fator de redução pelas curvas de flambagem
$\gamma_t$ - total	-	Coefficiente de redução da raiz	1,50	1,00			NP EN 1997-1:2010	Quadro A.6, Estacas escavadas
$\gamma_s$ - lateral	-	Coefficiente de redução da resistência lateral	1,30	1,00			NP EN 1997-1:2010	Quadro A.6, Estacas escavadas
$\gamma_b$ - ponta	-	Coefficiente de redução da resistência de ponta	1,60	1,00			NP EN 1997-1:2010	Quadro A.6, Estacas escavadas
$\gamma_{ss}$	-	Coefficiente de redução do aço	1,00	1,00			NP EN 1993-1-1:2005	Seção 6.1, Nota 2B
$\gamma_{sc}$	-	Coefficiente de redução da calda/argamassa	1,50	1,00			NP EN 1992-1-1:2010	Quadro 2.1N, página 31
$\gamma_\phi$	-	Coefficiente de redução do ângulo de atrito efetivo	1,25	1,00			NP EN 1997-1:2010	Quadro A.2
$\gamma_c$	-	Coefficiente de redução da coesão efetiva	1,25	1,00			NP EN 1997-1:2010	Quadro A.2
FSCARGA	-	Fator de segurança para carga crítica	1,00				Sem referência	
FSRAIZ	-	Fator de segurança para raiz	2,00				ABNT NBR 6122 (2022)	
FSAÇO	-	Fator de segurança para o aço	1,00				Sem referência	

LEGENDA:  Estado Limite Último  Estado Limite de Utilização/Serviço

Figura 37 - Síntese de todos os parâmetros utilizados nas ferramentas de cálculo.

## 5. DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DAS FERRAMENTAS DE CÁLCULO

As ferramentas de cálculo foram desenvolvidas no *software Microsoft Office Excel* e está bem automatizada, exigindo do usuário apenas a inserção das informações iniciais e a interação com os botões disponíveis para a execução das funções. Cabe destacar que, para métodos que fazem uso de ábacos, a interpretação dos resultados depende da análise do usuário. Além disso, para seu correto funcionamento, as ferramentas utilizam macros, implementadas por meio da linguagem de programação *Visual Basic for Applications (VBA)*, com o objetivo de otimizar o tempo do engenheiro e tornar os cálculos mais eficientes. Ressalta-se que elas foram projetadas para auxiliar em estudos similares ao caso analisado, sendo, até o momento, destinadas exclusivamente a fins acadêmicos. Portanto, seu uso não é recomendado como um recurso definitivo para a elaboração de projetos estruturais ou geotécnicos.

A Figura 38 apresentada exibe a interface inicial das ferramentas de cálculo disponíveis na planilha. Essa tela permite ao usuário selecionar entre duas opções de análise. A primeira ferramenta é voltada para a caracterização detalhada da microestaca, incluindo uma análise mais aprofundada. Como descrito na interface, essa seção exige o fornecimento de diversas informações, tanto da microestaca quanto do solo de fundação. A partir desses dados, a planilha processa as informações com base em critérios previamente definidos, possibilitando ao usuário realizar uma avaliação precisa e personalizada. Essa análise contempla todos os métodos implementados para o cálculo da estabilidade interna da seção transversal e da capacidade de suporte da raiz do elemento. Já a segunda ferramenta destina-se ao pré-dimensionamento do projeto. Nessa seção, o usuário é auxiliado na definição de parâmetros básicos da microestaca, como as características de compacidade ou consistência do solo, a carga proveniente dos pilares, o comprimento da raiz ou o diâmetro da microestaca.

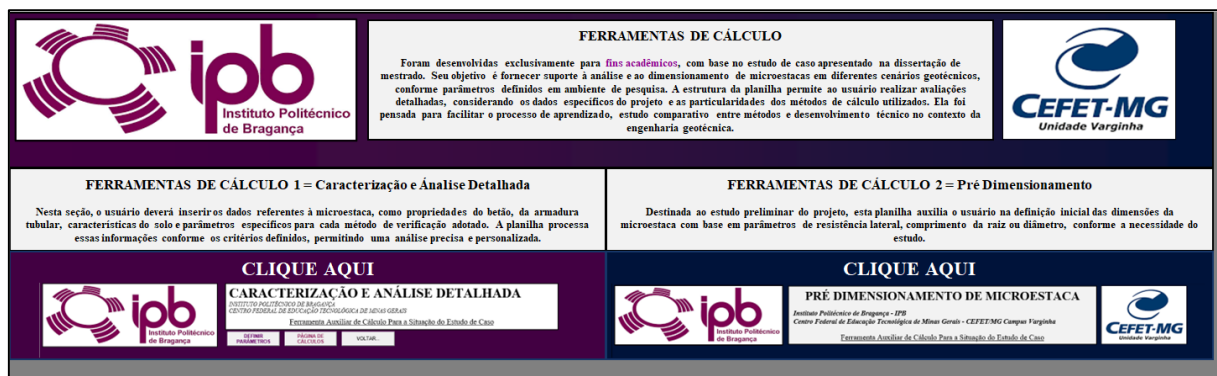


Figura 38 - Ferramentas de cálculo.

## 5.1. FERRAMENTA DE CÁLCULO 1

### 5.1.1. DESCRIÇÃO

A primeira ferramenta de cálculo – caracterização e análise detalhada – está organizada em 3 páginas principais: a primeira apresenta a descrição da ferramenta e orientações de uso; a segunda página é destinada a definição dos parâmetros/informações estruturais e geotécnicas; por fim, a terceira e última página exhibe os resultados, a Figura 39 ilustra a primeira página, que além da observação mencionada da descrição introdutória, possui uma opção de ir diretamente para a segunda ferramenta, permitindo ao usuário alternar entre as duas opções de forma prática.



Figura 39 - Descrição - 1ª Ferramenta.

### 5.1.2. DEFINIÇÃO DAS INFORMAÇÕES GERAIS


A página referente as informações gerais, possui uma ordem predefinida para o preenchimento dos dados, facilitando a compreensão e o uso da ferramenta. Destaca-se que as células de cor amarela são editáveis, ou seja, o usuário pode inserir valores diretamente nesses campos. Já as células com outras colorações são protegidas, pois realizam cálculos automáticos com base nas informações fornecidas. São 4 janelas de entrada de dados: dimensões da

microestaca, capacidade estrutural; capacidade geotécnica e verificação de segurança. Na primeira subdivisão, a ferramenta solicita as dimensões que o usuário tem de uma microestaca, como diâmetro de perfuração, diâmetro efetivo, encabeçamento, comprimento livre, comprimento da raiz e carga de referência, que nesse caso é a carga proveniente do pilar mais solicitado do estudo de caso. Se for carga característica deve-se verificar com os fatores de segurança. Se for carga de cálculo deve-se com os coeficientes dos estados limites.

Na segunda seção da mesma página, destacada com a cor azul, corresponde aos parâmetros responsáveis pela definição da capacidade estrutural da microestaca. Inicialmente, são solicitadas as propriedades do betão, como: módulo de elasticidade, resistência característica à compressão e o coeficiente de minoração. Em seguida, devem ser inseridas as informações relativas ao aço da armadura tubular, onde é necessário informar o diâmetro externo da armadura e sua espessura. Após o fornecimento dos dados dos materiais, o usuário deverá especificar os parâmetros individuais exigidos por cada método de verificação estrutural (Método Geométrico de Euler, Salas e Pierre Souche) além disso, essa seção permite a definição das condições de corrosão, considerando o tempo de vida útil estimado da estrutura, o que impacta diretamente na perda de espessura da armadura tubular ao longo do tempo. Complementando que, para o método de Pierre Souche é aberto uma outra janela auxiliar que permite a consulta dos ábacos de Souche para determinar os valores que determinam a carga crítica de seu método.

A terceira seção, identificada pela cor marrom, é destinada à inserção dos parâmetros que influenciam diretamente na capacidade geotécnica da microestaca. Nessa área, o usuário deve informar a profundidade das camadas do solo, sendo possível configurar até quatro zonas geotécnicas. Esse número foi adotado em conformidade com as limitações do estudo de caso apresentado. Além disso, os valores de resistência do solo são, neste momento, compatíveis apenas com os dados provenientes do ensaio de sondagem SPT, que é o único contemplado na versão atual da ferramenta. Abaixo dos dados dos ensaios de sondagem, tem-se uma coluna destinada a designar a classificação do solo, que impacta direto no atrito lateral superficial. Alguns métodos que calculam a capacidade de suporte da raiz utilizam parâmetros de resistência (coesão e ângulo de atrito) e peso específico, sendo assim é essencial determiná-los. Além disso existem outros parâmetros que podem impactar tanto na capacidade geotécnica quanto na capacidade estrutural como o módulo de elasticidade do solo. Adicionalmente, tem uma seção que permite definir a qualidade da estrutura que será reforçada e a pressão/tipos de injeção da calda.

A última seção da ferramenta é dedicada à verificação da segurança do sistema de fundação, apresentando uma lógica semelhante àquela utilizada em *softwares* especializados, como o Geo5. Existem duas opções: fator de segurança (carga característica) e estados limite (carga de cálculo). O fator de segurança irá minorar a estabilidade interna da seção e suporte da raiz, paralelamente irá majorar a tensão de escoamento do aço. Os estados limites possuem 6 coeficientes: redução da carga crítica de encurvadura; redução da resistência da raiz; minoração da coesão; minoração do ângulo de atrito; coeficiente de confiabilidade do aço e coeficiente de segurança do betão. Esses coeficientes têm como objetivo introduzir margens de segurança adicionais no projeto, ajustando os valores característicos para situações de projeto que envolvam incertezas nos materiais, ações ou modelo de cálculo. Os valores atribuídos a esses coeficientes devem estar em conformidade com as diretrizes normativas. A Figura 40 ilustra a página de informações gerais, já com informações inalterados durante o estudo paramétrico baseados na Figura 37 - Síntese de todos os parâmetros utilizados nas ferramentas de cálculo. Os campos vazios serão variados de acordo com os casos<sup>7</sup>.



**CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA**  
INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
 CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA	2. CAPACIDADE ESTRUTURAL	3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA	4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA																																																																																																			
<p><b>Diâmetro de Perfuração</b> <input type="text" value="235,19"/> mm</p> <p><b>Diâmetro efetivo*</b> <input type="text" value="235,19"/> mm</p> <p><b>Comprimento cabeça*</b> <input type="text" value="0,00"/> mm</p> <p><b>Comprimento livre</b> <input type="text" value="0,00"/> mm</p> <p><b>Comprimento raiz</b> <input type="text" value="0,00"/> mm</p> <p>Considerar ZG4 como referência <b>NÃO</b></p> <p><b>Comprimento efetivo*</b> <input type="text" value="0,00"/> mm</p> <p><b>Comprimento TOTAL</b> <input type="text" value="0,00"/> mm</p> <p><b>Rigidez a flexão raiz</b> <input type="text" value="0,00"/> kNm<sup>2</sup></p> <p><b>Rigidez a flexão seção interna</b> <input type="text" value="0,00"/> kNm<sup>2</sup></p> <p><b>Diâmetro efetivo</b>                      Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.</p> <p><b>Comprimento cabeça</b>                      Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.</p> <p><b>Comprimento efetivo</b>                      *efetivo = L<sub>livre</sub> + L<sub>raiz</sub></p>	<p><b>2.1. Informações do Cimento</b></p> <p>Módulo de Elasticidade <input type="text" value="28"/> Gpa</p> <p>Momento de Inércia <input type="text" value="0,00E+00"/> m<sup>4</sup></p> <p>Rigidez a flexão <input type="text" value="0,00"/> kNm<sup>2</sup></p> <p>Área de Concreto seção interna <input type="text" value="0,0000"/> m<sup>2</sup></p> <p>f<sub>cd</sub> (MPa) <input type="text" value="25"/> MPa</p> <p>γ<sub>c</sub> <input type="text" value="1,5"/></p> <p>f<sub>ctd</sub> (MPa) <input type="text" value="16,67"/> MPa</p> <p><b>2.2. Informações do aço da Armadura Tubular</b></p> <p>Diâmetro exterior <input type="text" value="0,00"/> mm</p> <p>Espessura <input type="text" value="0,00"/> mm</p> <p>Módulo de Elasticidade <input type="text" value="210"/> Gpa</p> <p>Diâmetro interior <input type="text" value="0,0000"/> mm</p> <p>Momento de Inércia <input type="text" value="0,00E+00"/> m<sup>4</sup></p> <p>Rigidez a flexão <input type="text" value="0,00"/> kNm<sup>2</sup></p> <p>Área de aço <input type="text" value="0,00E+00"/> m<sup>2</sup></p> <p>f<sub>sd</sub> <input type="text" value="595"/> MPa</p> <p>γ<sub>s</sub> <input type="text" value="1,00"/></p> <p>f<sub>td</sub> <input type="text" value="595,00"/> MPa</p> <p><b>2.3. Parâmetros individuais de cada METODO</b></p> <p>Euler e Pierre Souche</p> <p>Rigidez da mola Winkler <input type="text" value="6"/> MN/m<sup>3</sup></p> <p>Pierre Souche</p> <p>m #DIV/0!</p> <p>w #DIV/0!</p> <p><b>2.4. Definir CORROSÃO</b></p> <p>CORROSÃO <input type="checkbox"/></p> <p>Tempo de vida útil <input type="text" value="0"/> anos</p> <p>F<sub>rd</sub> <input type="text" value="0"/> mm</p> <p>Perda de espessura da tub. corrosão <input type="text" value="0"/> mm</p>	<p><b>3.1. Informações do Solo</b></p> <p><b>PROFUNDIDADES DE SOLO</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Zona Geotécnica</th> <th>4</th> <th>3</th> <th>2</th> <th>1</th> </tr> <tr> <td>Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)</td> <td>5,1</td> <td>8,0</td> <td>10,4</td> <td>15,0</td> </tr> <tr> <td>Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)</td> <td>0</td> <td>2,9</td> <td>2,4</td> <td>4,6</td> </tr> </table> <p><b>VALORES DOS ENSAIOS</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>N<sub>lim</sub> (kN/m<sup>2</sup>)</td> <td>0</td> <td>22</td> <td>37</td> <td>55</td> </tr> <tr> <td>N<sub>u60</sub> (MPa)</td> <td>0</td> <td>21</td> <td>35</td> <td>52</td> </tr> </table> <p><b>TIPOS DE SOLO</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>TIPO</th> <th>Comprimento livre da microestaca</th> </tr> <tr> <td>ZG4</td> <td>Areia</td> </tr> <tr> <td>ZG3</td> <td>Areia</td> </tr> <tr> <td>ZG2</td> <td>Areia</td> </tr> <tr> <td>ZG1</td> <td>Areia</td> </tr> </table> <p>Classificação global do solo IZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias</p> <p><b>PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>γ (kN/m<sup>3</sup>)</td> <td>0</td> <td>19</td> <td>20</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>c' (kPa)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>φ' (°)</td> <td>27,10</td> <td>33,15</td> <td>37,00</td> <td>41,33</td> </tr> </table> <p><b>OUTROS PARÂMETROS</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>OCR</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>E (MPa)</td> <td>0</td> <td>92,49</td> <td>140,20</td> <td>192,52</td> </tr> <tr> <td>p<sub>lim</sub> (MPa)</td> <td>0</td> <td>1,05</td> <td>1,76</td> <td>2,62</td> </tr> <tr> <td>E<sub>s</sub> (MPa)</td> <td>0</td> <td>8,70</td> <td>15,49</td> <td>23,63</td> </tr> <tr> <td>α<sub>c</sub></td> <td>#####</td> <td>0,33</td> <td>0,33</td> <td>0,33</td> </tr> </table> <p><b>3.2. Definir a Injeção da calda e outros parâmetros</b></p> <p>TIPO <input type="text" value="IGU"/></p> <p>Pressão da Injeção <input type="text" value="0"/> MPa</p> <p>Condição estrutural <input type="text" value="Nova estrutura"/></p> <p>Fator de Influência (cabo-estrutural) que minora o φ <input type="text" value="1"/></p>	Zona Geotécnica	4	3	2	1	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	15,0	Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)	0	2,9	2,4	4,6	N <sub>lim</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	0	22	37	55	N <sub>u60</sub> (MPa)	0	21	35	52	TIPO	Comprimento livre da microestaca	ZG4	Areia	ZG3	Areia	ZG2	Areia	ZG1	Areia	γ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20	c' (kPa)	0	0	0	0	φ' (°)	27,10	33,15	37,00	41,33	OCR	1	1	1	1	E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52	p <sub>lim</sub> (MPa)	0	1,05	1,76	2,62	E <sub>s</sub> (MPa)	0	8,70	15,49	23,63	α <sub>c</sub>	#####	0,33	0,33	0,33	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>FATOR DE SEGURANÇA</th> <th>ESTADO LIMITE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>FS carga crítica</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>FS estado de aço</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>FS seção de raiz</td> <td>2,00</td> </tr> <tr> <td>γ<sub>nt</sub> - carga</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>γ<sub>nt</sub> - atrito</td> <td>1,25</td> </tr> <tr> <td>γ<sub>nt</sub> - coesão</td> <td>1,25</td> </tr> <tr> <td>γ<sub>nt</sub> - raiz total</td> <td>1,50</td> </tr> <tr> <td>γ<sub>nt</sub> - raiz ponta</td> <td>1,60</td> </tr> <tr> <td>γ<sub>nt</sub> - raiz lateral</td> <td>1,30</td> </tr> <tr> <td>γ<sub>nt</sub> - aço</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>γ<sub>nt</sub> - calda</td> <td>1,50</td> </tr> </tbody> </table>	FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE	FS carga crítica	1,00	FS estado de aço	1,00	FS seção de raiz	2,00	γ <sub>nt</sub> - carga	1,00	γ <sub>nt</sub> - atrito	1,25	γ <sub>nt</sub> - coesão	1,25	γ <sub>nt</sub> - raiz total	1,50	γ <sub>nt</sub> - raiz ponta	1,60	γ <sub>nt</sub> - raiz lateral	1,30	γ <sub>nt</sub> - aço	1,00	γ <sub>nt</sub> - calda	1,50
Zona Geotécnica	4	3	2	1																																																																																																		
Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	15,0																																																																																																		
Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)	0	2,9	2,4	4,6																																																																																																		
N <sub>lim</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	0	22	37	55																																																																																																		
N <sub>u60</sub> (MPa)	0	21	35	52																																																																																																		
TIPO	Comprimento livre da microestaca																																																																																																					
ZG4	Areia																																																																																																					
ZG3	Areia																																																																																																					
ZG2	Areia																																																																																																					
ZG1	Areia																																																																																																					
γ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20																																																																																																		
c' (kPa)	0	0	0	0																																																																																																		
φ' (°)	27,10	33,15	37,00	41,33																																																																																																		
OCR	1	1	1	1																																																																																																		
E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52																																																																																																		
p <sub>lim</sub> (MPa)	0	1,05	1,76	2,62																																																																																																		
E <sub>s</sub> (MPa)	0	8,70	15,49	23,63																																																																																																		
α <sub>c</sub>	#####	0,33	0,33	0,33																																																																																																		
FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE																																																																																																					
FS carga crítica	1,00																																																																																																					
FS estado de aço	1,00																																																																																																					
FS seção de raiz	2,00																																																																																																					
γ <sub>nt</sub> - carga	1,00																																																																																																					
γ <sub>nt</sub> - atrito	1,25																																																																																																					
γ <sub>nt</sub> - coesão	1,25																																																																																																					
γ <sub>nt</sub> - raiz total	1,50																																																																																																					
γ <sub>nt</sub> - raiz ponta	1,60																																																																																																					
γ <sub>nt</sub> - raiz lateral	1,30																																																																																																					
γ <sub>nt</sub> - aço	1,00																																																																																																					
γ <sub>nt</sub> - calda	1,50																																																																																																					

Figura 40 - Definição das informações gerais - 1ª Ferramenta.

<sup>7</sup> Ver próxima seção 5.4 destinada as informações dos estudos paramétricos.

### 5.1.3. PÁGINA DOS RESULTADOS

A última página da primeira ferramenta é dedicada à apresentação dos resultados obtidos a partir das informações fornecidas pelo usuário. Essa interface é organizada de forma visualmente intuitiva, com destaques em cores distintas que facilitam a interpretação dos dados estruturais e geotécnicos. Do lado esquerdo, destacado com a cor roxo, tem-se os valores calculados para a capacidade estrutural, ainda nesse campo, o usuário pode modificar as condições de contorno do fuste/raiz e o encabeçamento da microestaca. Além disso, a parte estrutural também demonstra a tensão de compressão no aço tubular e a vida útil. Todos esses valores são sintetizados visualmente em um gráfico posicionado na parte inferior da página, o que permite uma avaliação integrada e comparativa dos resultados. Ainda na primeira parte dos resultados, é possível verificar a segurança em relação a resistência a encurvadura de projeto determinada por meio método do Eurocódigo 3 e a estabilidade do aço em relação a sua resistência máxima de compressão. Os resultados gráficos são bem ilustrativos e intuitivos, fornecendo as informações essenciais para estabilidade estrutural.

De modo análogo, o lado direito da tela, destacado pela cor azul-escuro, apresenta os resultados da capacidade de suporte geotécnica da raiz da microestaca, com base na resistência lateral mobilizada pelo solo. Esses dados também são representados em um gráfico específico, que inclui uma média ponderada dos resultados e uma faixa de variação de 20%, permitindo avaliar a consistência e proximidade entre os diferentes métodos de cálculo utilizados. Convém ponderar, que a variável  $R_{ck}$  refere-se à resistência total da raiz (resistência lateral + resistência de ponta), enquanto  $R_{cd}$  é a capacidade de suporte da raiz da microestaca, ou seja, nesse caso o valor da resistência foi reduzido pelo critério de segurança. Assim como na análise estrutural, os resultados gráficos e tabelados são autoexplicativos. Vale ponderar que o Fator de Segurança foi normalizado em relação ao Estado Limite, sendo assim os dados da capacidade de carga devem ser superiores ou iguais a 1,00 para indicar uma condição de estabilidade geotécnica segura. Vale destacar que o critério de segurança deve ser de acordo com a carga. Um carregamento proveniente de combinações de ações deve ser considerado na seção do Estado Limite. Cargas características são direcionadas aos valores minorados pelo Fator de Segurança. Sendo assim, a carga a ser fornecida pelo usuário pode ter duas abordagens diferentes. A Figura 41 demonstra a página de resultados com valores aleatórios ilustrativos.

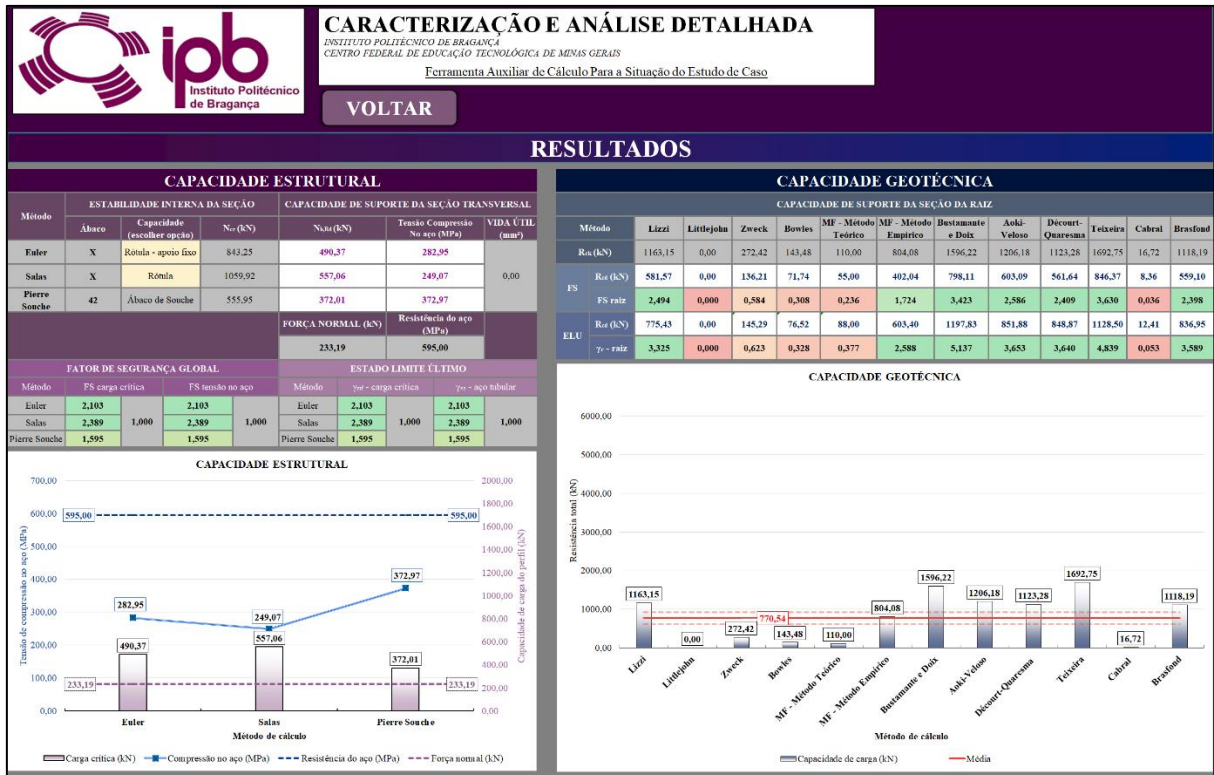


Figura 41 - Página de resultados - 1ª Ferramenta.

## 5.2. FERRAMENTA DE CÁLCULO 2

### 5.2.1. DESCRIÇÃO

A segunda ferramenta é destinada ao pré-dimensionamento da microestaca com base nos dados e parâmetros adotados ao estudo de caso na referida dissertação. Basicamente ela fornece as dimensões mínimas para a armadura tubular e o comprimento da raiz que satisfazem o critério de segurança. Assim como a primeira ferramenta, esta possui 3 páginas principais: a primeira página consiste em uma descrição introdutória e orientativa; já a segunda página define as informações gerais do solo e dos materiais da microestaca, assim como as condições de contorno; por fim, a terceira página apresenta os resultados do pré-dimensionamento, organizados de forma objetiva em uma tabela de saída. Adicionalmente, a interface disponibiliza uma opção de navegação que permite retornar à primeira ferramenta. A Figura 42 demonstra a página inicial.



Figura 42 - Descrição - 2ª Ferramenta.


### 5.2.2. DEFINIÇÃO DAS INFORMAÇÕES GERAIS

A segunda página da ferramenta de pré-dimensionamento é estruturada em quatro seções distintas, destinadas à inserção dos dados essenciais para o cálculo preliminar da microestaca. A primeira seção é voltada para a caracterização geotécnica do solo. Nessa etapa, o usuário deve informar a altura de cada camada de solo, sendo possível configurar até seis camadas distintas, conforme os limites estabelecidos na presente versão da ferramenta. Um aspecto que é determinante para o pré-dimensionamento é o atrito superficial, este é fornecido indiretamente, por meio do tipo de solo em cada camada que o utilizador irá colocar, baseado na Tabela 3 de Luzzi (1982) e nos ábacos de Bustamante e Doix (1985). Além disso, deve-se escolher o tipo de entrada do parâmetro de ensaio, para isso a ferramenta oferece, até o momento, apenas a opção do N° de pancadas – SPT. Por fim, tem-se os parâmetros de resistência do solo, que até o momento não estão influenciando no produto devido a entrada indireta do atrito superficial.

A segunda seção da página é destinada à definição das propriedades dos materiais constituintes da microestaca, nomeadamente a armadura tubular e a calda de cimento (ou calda de injeção). A inserção dos dados nesta etapa é fundamental para a estimativa adequada da capacidade estrutural do elemento. O usuário deve fornecer informações básicas sobre os materiais, incluindo: tensão de escoamento característica do aço utilizado na armadura tubular; resistência característica à compressão do betão, referente à calda de cimento; módulo de elasticidade do aço e do betão, parâmetros necessários para a análise do comportamento elástico dos materiais e coeficientes de segurança aplicáveis ao aço e ao betão.

A terceira seção é responsável pela configuração completa da metodologia de cálculo. Nesta etapa, o usuário deve inicialmente estabelecer as condições de contorno do problema: escolher o posicionamento da microestaca (a posição afogada refere-se à consideração da primeira camada do solo); definir a carga do pilar; fatores de segurança; tipo de injeção e rigidez da mola de Winkler que representa a reação do solo frente aos deslocamentos do elemento de reforço e o tipo de seção de acordo com o Eurocódigo 3. Uma vez definidas as condições de contorno, o usuário procede à seleção da metodologia de cálculo. Para a capacidade de carga da raiz, estão disponíveis duas opções: método de Bustamante e Doix (1985) e método de Lizzi (1982). Para a capacidade estrutural a ferramenta utiliza o método geométrico de Euler (1936). Por fim, o usuário deve definir o parâmetro de entrada de referência que irá guiar o pré-dimensionamento. Pode-se optar por definir o comprimento da raiz ou diâmetro de perfuração para que a ferramenta devolva os resultados do pré-dimensionamento.

O processo de dimensionamento adotado pela ferramenta é baseado em uma metodologia iterativa, desenvolvida integralmente em VBA para Excel. Ao acionar o botão “Calcular”, o sistema inicia o procedimento computacional, no qual o parâmetro de referência previamente selecionado (comprimento da raiz ou diâmetro de perfuração) é utilizado como base para o dimensionamento. A ferramenta realiza incrementos sucessivos sobre esse parâmetro, avaliando uma ampla faixa de valores possíveis até que a capacidade de carga da microestaca atinja ou supere a carga do pilar, devidamente majorada pelo fator de segurança especificado pelo usuário. Uma vez determinado o comprimento da raiz – seja de forma manual ou automática –, o programa passa a explorar diversas combinações possíveis de variáveis geométricas, tais como: diâmetro da armadura tubular, espessura do tubo e comprimento livre da microestaca. Novamente, são realizadas múltiplas iterações, com ajustes incrementais, até que o conjunto de parâmetros satisfaça plenamente os critérios de verificação estrutural e geotécnica, sobretudo no que tange à compatibilidade com a carga de projeto do pilar. A Figura 43 mostra a página de informações gerais.




**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

**PRÉ DIMENSIONAMENTO DE MICROESTACA**

Instituto Politécnico de Bragança - IPB  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG Campus Varginha

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso




**CEFET-MG**  
Unidade Varginha


1. Definir os parâmetros do solo

VOLTAR	ALTURA (m)	Peso Específico (kN/m <sup>3</sup> )	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito (°)	Nº de pancadas - SPT	Tipo de solo (Classificação)	Tipo de solo (Compacidade)
1ª CAMADA	2,9				22	Areias e cascalhos	Muito rígido, cascalho e areias
2ª CAMADA	2,6				37	Areias e cascalhos	Muito rígido, cascalho e areias
3ª CAMADA	12,5				55	Areias e cascalhos	Muito rígido, cascalho e areias
4ª CAMADA							
5ª CAMADA							
6ª CAMADA							

2. Defina os materiais da microestaca (armadura, tubular e calda de cimento)



Tensão de escoamento característica do aço (f <sub>yk</sub> ) - (MPa)	595,00
Coefficiente de segurança do aço	1,00
Tensão de cálculo do aço (f <sub>td</sub> ) - (MPa)	595,00
Módulo de Elasticidade - (MPa)	210.000,00

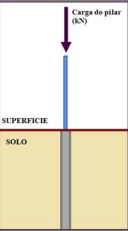


Resistência à compressão característica do betão (f <sub>ck</sub> ) - (MPa)	25,00
Coefficiente de segurança do betão	1,50
Resistência de cálculo do betão à compressão (f <sub>td</sub> ) - (MPa)	16,67
Módulo de Elasticidade - (MPa)	28.000,00

3. Defina a metodologia de cálculo e insira o diâmetro ou comprimento da microestaca

3.1. Condições de contorno da microestaca

Posicionamento da Microestaca	Comprimento livre acima do solo
CARGA pilar	233,19 kN
FS parcial (Estrutural)	1,00
FS parcial (Raiz)	2,00
Injeção	IGU
Rigidez da mola de Winkler	6,00 MN/m <sup>3</sup>
Tipo de seção (EC3)	Formado a frio



Carga do pilar (kN)

SUPERFÍCIE

SOLO

CALCULAR

RESULTADO

3.2. Metodologia de cálculo

CAPACIDADE ESTRUTURAL	Método Geométrico de Euler
CAPACIDADE DE CARGA DA RAIZ	Bustamante e Doix

3.3. Parâmetro de referência para o cálculo

COMPRIMENTO da raiz	m	<input type="checkbox"/>	SELECIONAR
DIÂMETRO de perfuração	mm	<input checked="" type="checkbox"/>	SELECIONAR

Diâmetro de perfuração (mm)	Diâmetro do tubo de revestimento (mm)	Diâmetro da armadura tubular (mm)
120	114,3	60,3 - 73,0
140	133	60,3 - 73,0 - 88,9
160	152,4	73,0 - 88,9 - 101,6
185	177,8	88,9 - 101,6 - 114,3 - 127,0
200	193,7	101,6 - 114,3 - 127,0 - 139,0
225	219,1	114,3 - 127,0 - 139,0 - 168,3

Figura 43 - Definição das informações gerais - 2ª Ferramenta.

### 5.2.3. PÁGINA DOS RESULTADOS

A página de resultados da segunda ferramenta caracteriza-se por sua simplicidade e objetividade, visando proporcionar ao usuário uma visualização direta e clara dos dados obtidos. Nessa seção, são apresentados os resultados consolidados do processo de pré-dimensionamento da microestaca, incluindo os valores finais dos parâmetros geométricos e estruturais que atendem aos critérios de segurança definidos previamente. A interface foi concebida de forma a facilitar a interpretação e a extração das informações relevantes, promovendo maior eficiência na tomada de decisão durante a fase inicial do projeto. A Figura 44 mostra a página dos resultados da segunda ferramenta com valores aleatórios ilustrativos.



Figura 44 - Página de resultados - 2ª Ferramenta.

### 5.3. LIMITAÇÕES DAS FERRAMENTAS

As duas ferramentas possuem algumas limitações que não foram consideradas durante o desenvolvimento. O principal motivo é para manter a confiabilidade da característica do estudo de caso. Portanto, elas não comportam até o momento:

- Presença de nível freático no solo;
- Consideração de esforços horizontais e momentos fletores;
- Avaliação de efeitos de grupo de microestacas;
- Inserção de valores diretos provenientes de ensaios geotécnicos distintos do SPT;
- Estimativa da capacidade de carga em terrenos rochosos.

Esses pontos representam potenciais oportunidades de aprimoramento em versões futuras, ampliando a aplicabilidade das ferramentas em diferentes contextos geotécnicos e estruturais.

### 5.4. ESTUDO PARAMÉTRICO

O estudo paramétrico foi dividido em 2 partes, de acordo com as ferramentas de cálculo. Nas duas análises os parâmetros geotécnicos e material “betão” não foram modificados, apenas os dados/informações geométricas referente ao elemento microestaca e seu material “armadura tubular”. O diagrama ilustrado na Figura 45 demonstra a esquematização da presente seção. A primeira ferramenta foi avaliada por meio da capacidade estrutural e geotécnica. Em ambas as situações foram analisadas: a sensibilidade dos métodos por meio de alguns casos criados e a variação de alguns parâmetros dos respectivos campos de análise. Conforme mencionado na descrição das ferramentas, a carga assumiu um valor característico para fator de segurança e valor de cálculo para os coeficientes parciais do estado limite. Essa decisão foi realizada para

demonstrar o sistema de funcionamento completo das ferramentas. No entanto, não representa uma abordagem ideal em relação as cargas dos pilares.

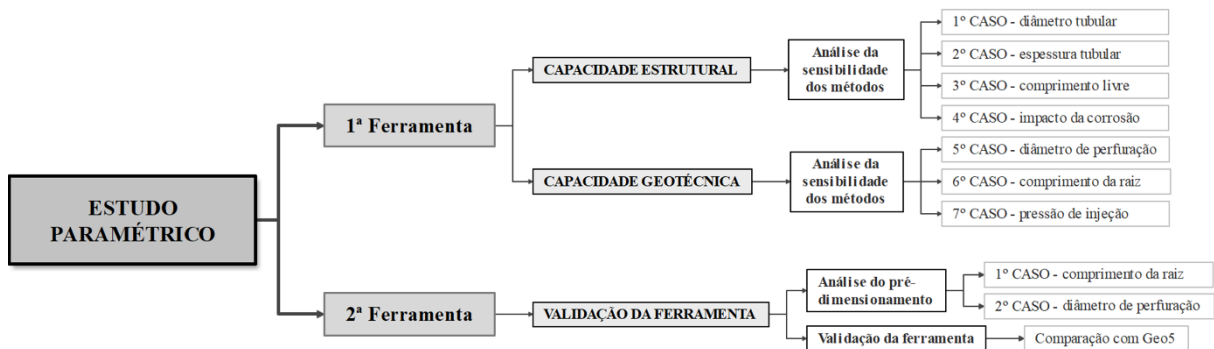


Figura 45 - Diagrama do estudo paramétrico.

Todo o estudo teve como base o projeto padrão do caso principal que foi detalhado e descrito na seção 4 – Estudo de Caso. Com base, a microestaca foi modelada no *software* Geo5, a maioria dos métodos de cálculo do *software* em questão estão presente na primeira ferramenta de cálculo e explicado na presente dissertação, permitindo uma comparação direta dos resultados obtidos. Outro fator que contribuiu para o uso do Geo5 foi a utilização dos desenhos gerados para visualização da microestaca. A Figura 46 mostra a representação do elemento de reforço do conjunto 2 das fundações (2A e 2B) do projeto do estudo de caso, sem a aplicação dos estudos paramétricos.

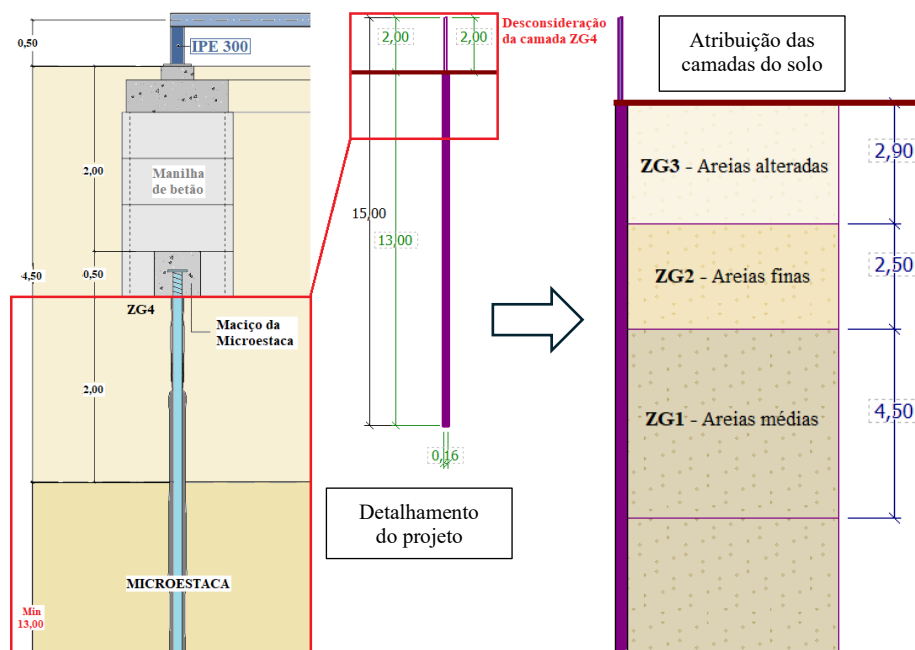


Figura 46 - Reforço da fundação isolada (2A e 2B) com microestaca.

#### 5.4.1. PRIMEIRA FERRAMENTA – CAPACIDADE ESTRUTURAL

A metodologia de construção da verificação da primeira ferramenta foi realizada com base na descrição/explicação da ferramenta presente na seção 5.1. Seguiu-se exatamente a ordem das atribuições, sendo assim o APÊNDICE A – Metodologia (1ª ferramenta) contém imagens que demonstram todas as informações utilizadas nos estudos de caso. Sintetizando o processo, foram realizados os seguintes passos:

1. Definição das dimensões da microestaca;
2. Definição dos parâmetros dos materiais que compõem a parcela estrutural do elemento (betão e armadura tubular) e considerações de influenciadores de carga (corrosão);
3. Definição das informações e parâmetros geotécnicos do solo;
4. Escolha do tipo de verificação de segurança;
5. Interpretação dos resultados.

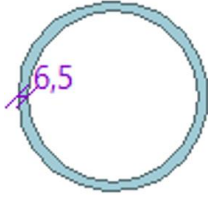
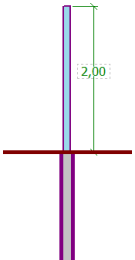
##### 5.4.1.1. Análise da sensibilidade dos métodos de cálculo

Essa etapa do estudo paramétrico foi destinada a verificar a sensibilidade dos métodos de cálculo da carga crítica de encurvadura, ou seja, analisar o quanto as variáveis podem influenciar na divergência ou convergência dos resultados e observar como os parâmetros essenciais da armadura tubular se comporta com valores diferentes. Também foi escopo deste estudo analisar o impacto da corrosão na metodologia de cálculo. Destacando que para realizar esse estudo, utilizou-se como base o catálogo de armaduras tubulares fornecido pelo GRUPO COMERCIAL SONDEOS que fornece materiais por quase todo o mundo.

##### 5.4.1.1.1. 1º Caso – Diâmetro tubular

De acordo com o catálogo do GRUPO COMERCIAL SONDEOS presente no ANEXO I os diâmetros externos podem variar em 12 tamanhos (43,0; 48,0; 60,3; 73; 88,9; 101,6; 127,0; 152,4; 177,8; 203,0; 244,0 e 298,0) todos na unidade milímetros (mm). Para este estudo de caso, a espessura e o comprimento livre da microestaca foram valores constantes de 6,5 mm e 2,0 m, respectivamente, conforme pode ser visualizado na Quadro 6.

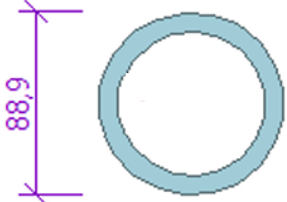
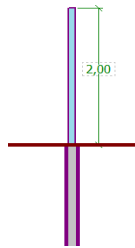
Quadro 6 - Parâmetros do 1º Caso – Armadura tubular – Primeira ferramenta

Parâmetro VARIÁVEL		Parâmetros CONSTANTES	
Diâmetros (mm)		Espessura (mm)	Comprimento livre (m)
43,0	127,0		
48,0	152,4		
60,3	177,8		
73,0	203,0		
88,9	244,0		
101,6	298,0		

5.4.1.1.2. 2º Caso – Espessura tubular

Novamente de acordo com o catálogo do GRUPO COMERCIAL SONDEOS os valores da espessura tubular variam de 3 mm até 16 mm. No entanto, essas medidas são modificadas de acordo com o diâmetro externo da armadura. Nesse caso, como constante o diâmetro externo será de 88,9 mm, pois segundo o catálogo esse é o diâmetro que mais comporta espessuras (3 mm até 16 mm). Além disso o comprimento livre foi constante no valor de 2,0 m. Sendo assim, os valores da espessura podem ser observados no Quadro 7.

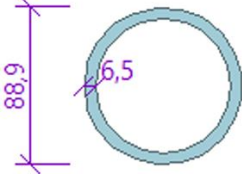
Quadro 7 - Parâmetros do 2º Caso – Armadura tubular – Primeira ferramenta.

Parâmetro VARIÁVEL	Parâmetros CONSTANTES	
Espessura (mm)	Diâmetro (mm)	Comprimento livre (m)
3,0		
6,5		
7,5		
8,5		
9,5		
12,0		

5.4.1.1.3. 3º Caso – Comprimento livre

Para o 3º Caso do estudo o parâmetro de análise é o comprimento livre da microestaca, sendo assim os parâmetros diâmetro e espessura tubular são constantes iguais a 88,9 mm e 6,5 mm, respectivamente. O Quadro 8 mostra o resumo dos valores. Vale destacar, que os valores de 3, 4 e 5 metros não seriam possíveis no projeto, devido a profundidade das sapatas que permite um comprimento livre de no máximo 2 metros na parte do aterro. Entretanto foi considerado as outras medidas para verificar a influência do comprimento nos métodos.

Quadro 8 - Parâmetros do 3º Caso – Armadura tubular – Primeira ferramenta.

Parâmetro VARIÁVEL	Parâmetros CONSTANTES
Comprimento livre (m)	Diâmetro e espessura (mm)
1,0	
2,0	
3,0	
4,0	
5,0	

#### 5.4.1.1.4. 4º Caso – Impacto da corrosão

O impacto da corrosão é avaliado com base no tipo de microestacas definido no estudo de caso, para verificar o rendimento ao longo dos anos de funcionamento do reforço. Sendo assim, as considerações para aplicar a corrosão foram baseadas no Tabela 15 da seção 3.2.1.1, é essencial revisar essas informações que são utilizadas na análise no 4º Caso. Foram analisadas o efeito da corrosão para: 5, 25, 50, 75 e 100 anos, além do mais foi considerado um solo industrial/solo contaminado e não foi adotado um tipo específico de união das peças da armadura, com o objetivo de simular o pior cenário possível. Vale destacar que essa última informação não está em conformidade com o estudo de caso, mas foi adotada para questões de análise acadêmica.

### 5.4.2. PRIMEIRA FERRAMENTA – CAPACIDADE GEOTÉCNICA

#### 5.4.2.1. Análise da sensibilidade dos métodos de cálculo

Equivalente a capacidade estrutural, essa etapa do estudo paramétrico foi destinada a verificar a sensibilidade dos métodos de cálculo da resistência da raiz, ou seja, analisar o quanto as variáveis podem influenciar na divergência ou convergência dos resultados e observar como os parâmetros comprimento e diâmetro da raiz se comportam mediante a valores diferentes. Também foi escopo dessa parte analisar o impacto da pressão da injeção nas metodologias de cálculo que a usam.

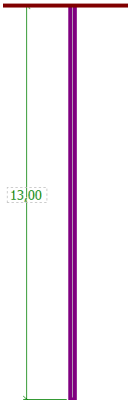
#### 5.4.2.1.1. 5º Caso – Diâmetro de perfuração

A análise do diâmetro de perfuração levou em consideração a Tabela 2 e a própria definição (100 mm até 300 mm)<sup>8</sup> da microestaca para estabelecer os diferentes valores para o

<sup>8</sup> Ver seção 2.2.2, referente as características e definições da microestaca.

parâmetro, conforme pode ser visualizado no Quadro 9. Enquanto o comprimento da raiz é constante e respeita o limite estabelecido pelo relatório do estudo de caso que é de 13 m em contato com o solo para manter o tamanho de 15 m da microestaca.

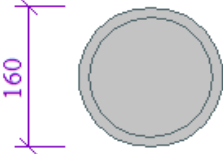
Quadro 9 - Parâmetros do 1º Caso – Raiz – Primeira ferramenta.

Parâmetro VARIÁVEL	Parâmetro CONSTANTE
Diâmetro da raiz (mm)	Comprimento da raiz (m)
120,0	
140,0	
160,0	
180,0	
200,0	
220,0	
240,0	
260,0	
280,0	
300,0	

#### 5.4.2.1.2. 6º Caso – Comprimento da raiz

Nesse caso o comprimento total da microestaca também foi alterado. Os parâmetros da armadura tubular não influenciam nessa análise, sendo assim são constantes. Portanto, o comprimento da raiz do elemento foi incrementado em 5 valores diferentes. Os valores em questão não foram referenciados de nenhum local, foram estimados apenas para verificar a sensibilidade do parâmetro a variação e podem ser visualizados no Quadro 10.

Quadro 10 - Parâmetros do 2º Caso – Raiz – Primeira ferramenta.

Parâmetro VARIÁVEL	Parâmetro CONSTANTE
Comprimento da raiz (m)	Diâmetro da raiz (mm)
13,0	
14,0	
15,0	
16,0	
17,0	

#### 5.4.2.1.3. 7º Caso – Impacto da pressão da injeção nos métodos

Essa etapa foi reservada para verificar como a pressão da injeção impacta nos métodos de Littlejohn e Bruce (1977), Ministério de Fomento – Método Teórico (2005) e Cabral (1986). A primeira consideração nesse caso baseou-se em verificar a variação do resultado mediante a

diferentes valores do parâmetro em questão. Os valores da pressão foram referentes aos limites estabelecidos por Bustamante e Doix (1985) e Ministério de Fomento (2005), sendo eles: 0,50 MPa, 0,60 MPa, 0,70 MPa, 0,80 MPa, 0,90 MPa e 1,00 MPa. Como pode ser observado, são valores referentes a injeção IGU. Convém enfatizar que, os outros parâmetros da microestaca se mantiveram constantes, com diâmetro de perfuração igual 160 mm e 13 metros de comprimento da raiz.

#### 5.4.3. SEGUNDA FERRAMENTA – VALIDAÇÃO

A metodologia para a construção da validação da segunda ferramenta seguiu a descrição/explicação na seção 5.2. Sendo assim, seguiu-se a seguinte ordem de definição:

1. Definição das camadas e parâmetros do solo;
2. Definição dos parâmetros da calda de cimento e armadura tubular;
3. Definição da metodologia de cálculo e condições de contorno;
4. Interpretação dos resultados e compatibilização com o catálogo de armaduras tubulares.

Em relação ao terceiro ponto, o posicionamento da microestaca adotado foi “comprimento livre acima do solo”, devido a desconsideração da resistência da “primeira camada” do solo, sendo assim a primeira camada efetiva é a segunda definida na ferramenta. Todo o processo e dados que foram adotados no processo estão presentes no APÊNDICE B – Metodologia (2ª ferramenta). Enquanto os coeficientes de redução dos materiais e os fatores de segurança para raiz e carga crítica estão de acordo com a Figura 37 - Síntese de todos os parâmetros utilizados nas ferramentas de cálculo. É relevante ponderar que pra todos os casos, foram utilizados o método geométrico de Euler e Método de Bustamante (1985), para capacidade estrutural e geotécnica, respectivamente.

##### 5.4.3.1. 1º Caso – Comprimento da raiz

Conforme mencionado na explicação da ferramenta, ela foi desenvolvida para um pré-dimensionamento, portanto funciona como uma auxiliar para fins acadêmicos até o momento. O primeiro estudo de caso teve como objetivo verificar a saída dos valores de diâmetros de perfuração e as demais informações sobre a armadura tubular, por meio da entrada de diferentes valores do comprimento da raiz da microestaca, os dados de entrada são: 13, 15 e 17 metros.

##### 5.4.3.2. 2º Caso – Diâmetro de perfuração

Assim como o processo anterior, o segundo estudo de caso teve como objetivo verificar a saída dos valores de comprimento da raiz e demais informações sobre a armadura tubular, por

meio da entrada de diferentes valores do diâmetro de perfuração/microestaca, os dados de entrada são: 120, 160 e 200 mm.

#### 5.4.3.3. 3º Caso – Validação da ferramenta

O terceiro e último estudo de caso tende a validar a ferramenta, ao comparar com uma situação real. Nesse caso considerou-se os resultados de projeto do estudo de caso como validação. Vale destacar que as informações de resistência e deformabilidade dos materiais da microestaca, assim como os coeficientes parciais e fatores de segurança foram inalterados. Ainda no quesito de validação, os resultados encontrados na 2ª Ferramenta também foram comparados com os resultados do Geo5 e com a 1ª Ferramenta, para analisar a convergência ou divergência da ferramenta com um *software* original.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1. PRIMEIRA FERRAMENTA – CAPACIDADE ESTRUTURAL

#### 6.1.1. 1º CASO – DIÂMETRO TUBULAR

Todos os resultados obtidos, bem como os dados de entrada utilizados na ferramenta de cálculo, estão apresentados no APÊNDICE A.1 – 1º CASO – DIÂMETRO TUBULAR.

Observa-se que a variação do diâmetro tubular influencia significativamente a carga crítica de encurvadura/flambagem, com comportamento crescente de forma linear. As equações lineares forneceram os melhores coeficientes de determinação ( $R^2 \approx 1$ ) para todos os métodos analisados. Conforme ilustrado na Figura 47, o método de Salas se mostra mais sensível à variação do diâmetro, com maior incremento da carga crítica em relação às demais abordagens. Por outro lado, os métodos de Euler – geométrico (1936) e de Souche (1984) apresentam comportamentos similares, com variações que acompanham mutuamente a tendência de crescimento da carga crítica.

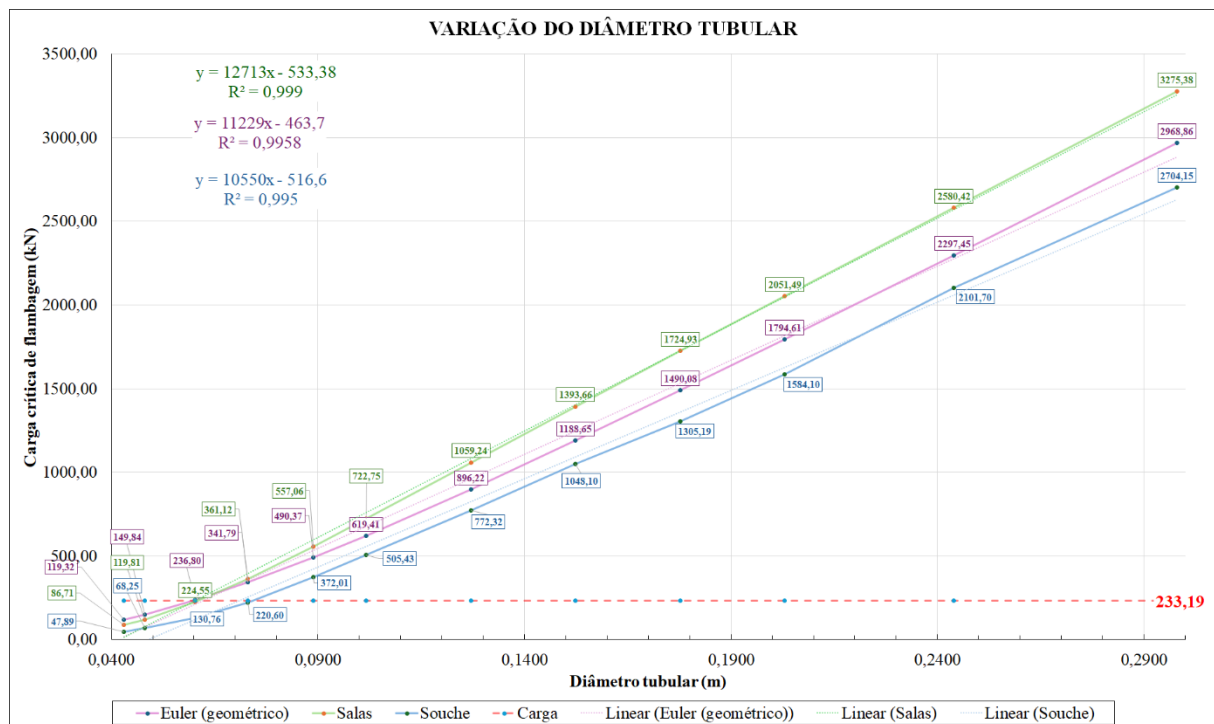


Figura 47 - Variação do diâmetro tubular - carga crítica.

A análise gráfica indica que, a partir do diâmetro de 62 mm (aproximadamente), os métodos de Salas (1980) e Euler – geométrico (1936) já superam a carga de referência da estrutura (233,19 kN). Para o método de Souche (1984), esse mesmo critério é atendido apenas a partir de 73,0 mm. A partir desses valores, verifica-se um crescimento mais acentuado das

cargas críticas. À primeira vista, as curvas apresentam uma proximidade maior, nota-se que os métodos divergem progressivamente com o aumento do diâmetro, efeito suavizado pela escala do gráfico. Em termos de comparação quantitativa, o método de Euler – geométrico (1936) apresenta, em média, 7,28% de diferença relativa em relação ao método de Salas (1980). Já o método de Salas (1980) difere em 18,39% do método de Souche (1984), enquanto Souche (1984) difere 15,84% em relação a Euler – geométrico (1936).

Com o intuito de sintetizar as informações relacionadas à segurança estrutural e manter a coerência com os resultados gráficos apresentados, a Figura 48 exibe uma tabela com os valores correspondentes à carga crítica de encurvadura e ao fator de segurança (FS), os quais, neste caso, coincidem numericamente com o Estado Limite Último (ELU), conforme evidenciado previamente na Figura 37 - Síntese de todos os parâmetros utilizados nas ferramentas de cálculo. A tabela complementa a análise anterior ao evidenciar que, a partir do diâmetro de 88,9 mm, todos os métodos adotados (Euler - geométrico, Salas e Souche) indicam uma condição estrutural segura, com margem satisfatória de segurança frente à carga de referência da estrutura. Por outro lado, diâmetros inferiores a este limiar se mostram críticos. Ressalta-se que, para seções com diâmetro igual ou superior a 101,6 mm, todos os métodos analisados já apresentam folgas de segurança significativas.

Análise de sensibilidade - Diâmetro tubular - Carga crítica de flambagem				
Diâmetro tubular	Euler	Salas	Souche	FS e ELU
43,0 mm	0,512	0,372	0,205	1,00
48,0 mm	0,643	0,514	0,293	1,00
60,3 mm	1,015	0,963	0,561	1,00
73,0 mm	1,466	1,549	0,946	1,00
88,9 mm	2,103	2,389	1,595	1,00
101,6 mm	2,656	3,099	2,167	1,00
127,0 mm	3,843	4,542	3,312	1,00
152,4 mm	5,097	5,976	4,495	1,00
177,8 mm	6,390	7,397	5,597	1,00
203,0 mm	7,696	8,798	6,793	1,00
244,0 mm	9,852	11,066	9,013	1,00
298,0 mm	12,732	14,046	11,596	1,00

Figura 48 - Avaliação da segurança da variação do diâmetro tubular - carga crítica.

Com o objetivo de complementar as análises anteriores, a Figura 49 apresenta a evolução da tensão de compressão no aço em função do aumento do diâmetro tubular, comparando-se os valores obtidos com a resistência característica do aço utilizado. Observa-se no gráfico um comportamento hiperbólico/decaimento exponencial e é representado por funções potenciais negativas, associado ao aumento da rigidez da seção transversal, o que reduz progressivamente as tensões atuantes no material com o incremento do diâmetro. Além disso, nota-se que os limites de segurança adotados nos diferentes métodos de verificação são coincidentes, o que evidencia a convergência dos resultados obtidos entre as metodologias utilizadas.

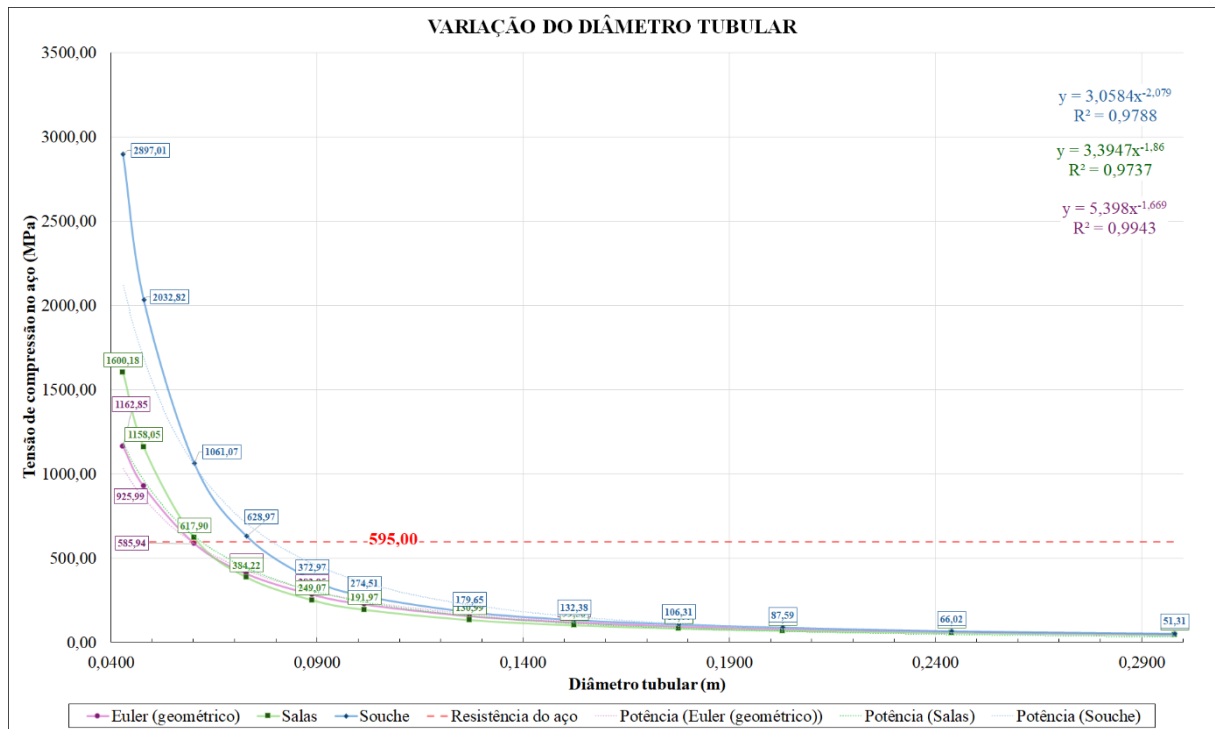


Figura 49 - Variação do diâmetro tubular - resistência do aço.

Concluindo o 1º Caso, nota-se que o diâmetro tubular tem influência no denominador da fórmula de Jimenez Salas (1980), ao alterar o valor do comprimento da extremidade fictícia  $L_{ef}$ , principalmente o momento de inércia da armadura tubular. Devido a essa ocorrência o método é o mais sensível quando comparado aos outros, que mantém o comprimento efetivo constante. Os métodos de Pierre Souche (1984) e geométrico de Euler (1936) são menos sensíveis.

### 6.1.2.2º CASO – ESPESSURA TUBULAR

Os dados de entrada e os resultados obtidos para a variação da espessura tubular podem ser visualizado no APÊNDICE A.2 – 2º CASO – ESPESSURA TUBULAR.

Nota-se que a variação da espessura tubular impacta a carga crítica de encurvadura com comportamento crescente de forma visivelmente com um aspecto próximo ao linear. Entretanto, as equações polinomiais de 2º grau forneceram um coeficiente de determinação igual a 1 para o método de Salas (1980) e valores muito aproximados para os demais métodos. Conforme ilustrado na Figura 50, novamente o método de Salas (1980) se mostra mais sensível à variação da espessura, com maior incremento da carga crítica em relação às demais abordagens. Em contrapartida, os métodos de Euler – geométrico (1936) e de Souche (1984) apresentam comportamentos similares, com trajetórias paralelas e crescimento proporcional à espessura.

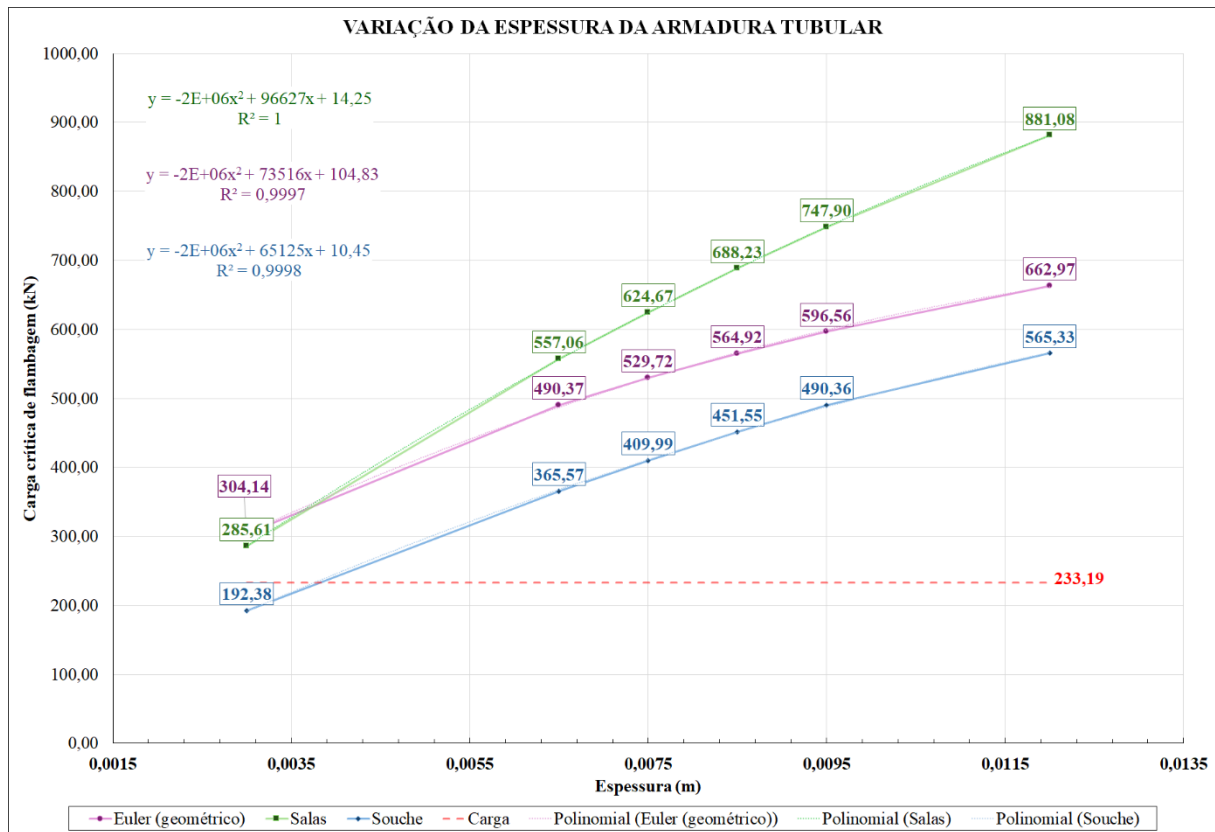


Figura 50 - Variação da espessura tubular - carga crítica.

Ao interpretar o gráfico, é visível que logo no início a partir de 3,00 mm de espessura, os métodos de Salas (1980) e Euler – geométrico (1936) já superam a carga de referência da estrutura (233,19 kN). Para o método de Souche (1984), é atendido aproximadamente por volta de 4,00 mm. A partir desses valores, verifica-se um crescimento linear mais discrepante das cargas críticas. Ainda se nota que a tendência é o distanciamento da carga crítica de Salas em relação aos outros dois métodos. Em termos de comparação quantitativa, o método de Euler – geométrico (1936) apresenta, em média, 8,83% de diferença relativa em relação ao método de Salas (1980), com essa divergência se ampliando à medida que a espessura aumenta. Já o método de Salas (1980) difere em 20,73% do método de Souche (1984), enquanto Souche (1984) difere 13,12% em relação a Euler – geométrico (1936). A diferença entre os métodos de Euler – geométrico (1936) e Souche (1984) tende a reduzir conforme a espessura aumenta, indicando uma convergência de resultados em seções mais robustas.

Do mesmo modo com o caso anterior para sintetizar as informações relacionadas à segurança estrutural e manter a coerência com os resultados gráficos apresentados, a Figura 51 exibe uma tabela com os valores correspondentes à carga crítica de encurvadura e ao fator de segurança (FS), os quais, neste caso, coincidem numericamente com o Estado Limite Último (ELU), conforme evidenciado previamente na Figura 37 - Síntese de todos os parâmetros

utilizados nas ferramentas de cálculo. A tabela complementa a análise anterior ao evidenciar que, a partir da espessura de 6,50 mm, todos os métodos adotados (Euler - geométrico, Salas e Souche) indicam uma condição estrutural segura, com margem satisfatória de segurança frente à carga de referência da estrutura.

Análise de sensibilidade - Espessura - Carga crítica de flambagem				
Espessura	Euler	Salas	Souche	FS e ELU
3,00 mm	1,304	1,225	0,825	1,00
6,50 mm	2,103	2,389	1,568	1,00
7,50 mm	2,272	2,679	1,758	1,00
8,50 mm	2,423	2,951	1,936	1,00
9,50 mm	2,558	3,207	2,103	1,00
12,00 mm	2,843	3,778	2,424	1,00

Figura 51 - Avaliação da segurança da variação da espessura tubular - carga crítica.

Fomentando as análises anteriores, a Figura 52 apresenta a evolução da tensão de compressão no aço em função do aumento da espessura, comparando-se os valores obtidos com a resistência característica do aço utilizado. Observa-se no gráfico um comportamento hiperbólico ou um decaimento exponencial suavizado, devido ao aumento da rigidez da seção transversal. Além disso, nota-se que os limites de segurança adotados nos diferentes métodos de verificação são coincidentes, o que evidencia a convergência dos resultados obtidos entre as metodologias utilizadas, o mesmo fato evidenciado na análise dos diâmetros tubulares.

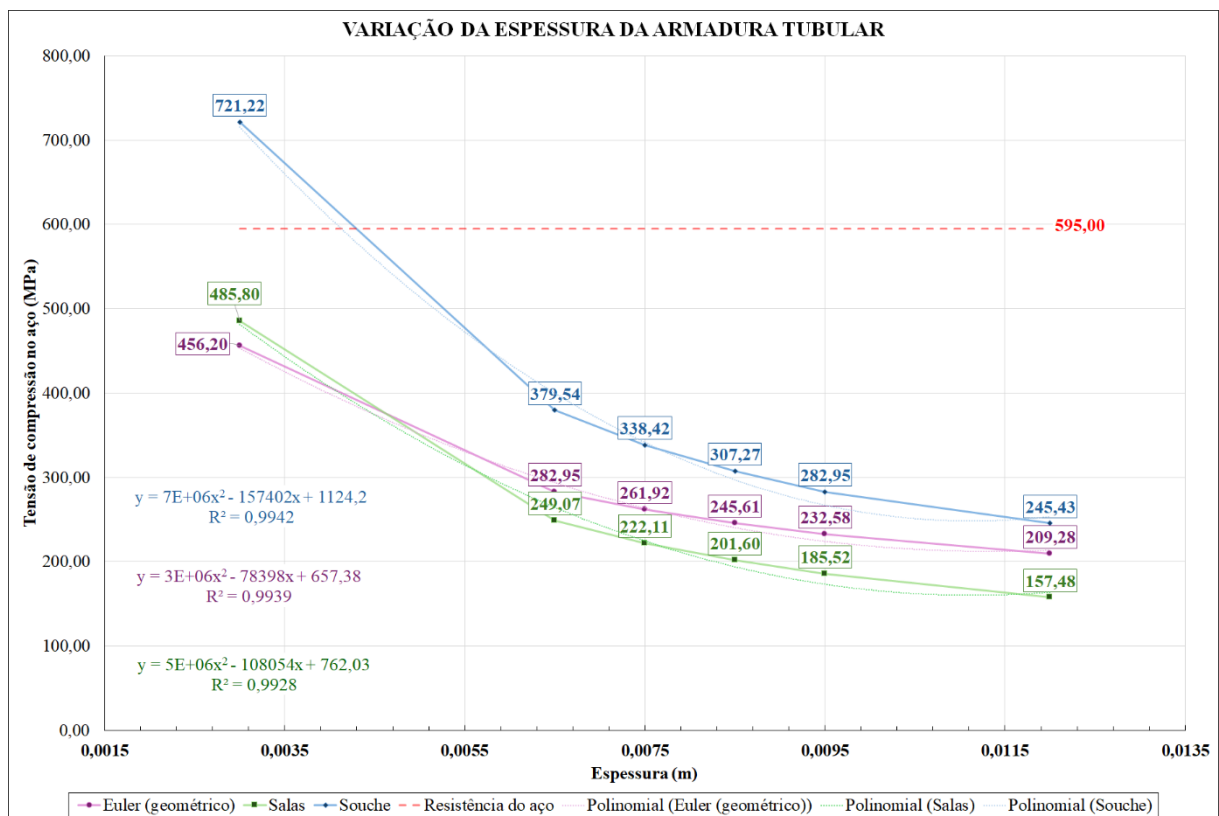


Figura 52 - Variação da espessura tubular - resistência do aço.

Sintetizando as informações do 2º Caso, as espessuras tubulares tiveram um comportamento aproximadamente linear, mais bem representado por uma equação negativa do 2º grau em relação a capacidade de suporte da seção. Devido a esse comportamento com tendência decrescente pode se dizer que a espessura tem menos impacto nos métodos. Pelo mesmo motivo do diâmetro tubular, o método de Salas (1980) é o mais sensível, assim como procede as mesmas informações para os outros dois métodos.

### 6.1.3.3º CASO – COMPRIMENTO LIVRE

Os dados de entrada e os resultados obtidos para a variação do comprimento livre podem ser visualizados no APÊNDICE A.3 – 3º CASO – COMPRIMENTO LIVRE.

Verifica-se que a variação do comprimento livre impacta a carga crítica de encurvadura com comportamento decrescente de diferentes formas nos métodos. Os métodos de Salas (1980) e Souche (1984) ajustaram-se melhor a equações polinomiais (de segundo e terceiro grau, respectivamente), enquanto o método de Euler – geométrico (1936), apesar de responder bem a um modelo linear, apresentou maior precisão quando ajustado por uma equação de segundo grau. Conforme ilustrado na Figura 53, novamente o método de Salas (1980) se mostra mais sensível à variação do comprimento livre, com maior incremento da carga crítica em relação às demais abordagens. Em contrapartida, o método de Euler – geométrico (1936) não tem uma variação significativa quando comparado com os outros métodos.

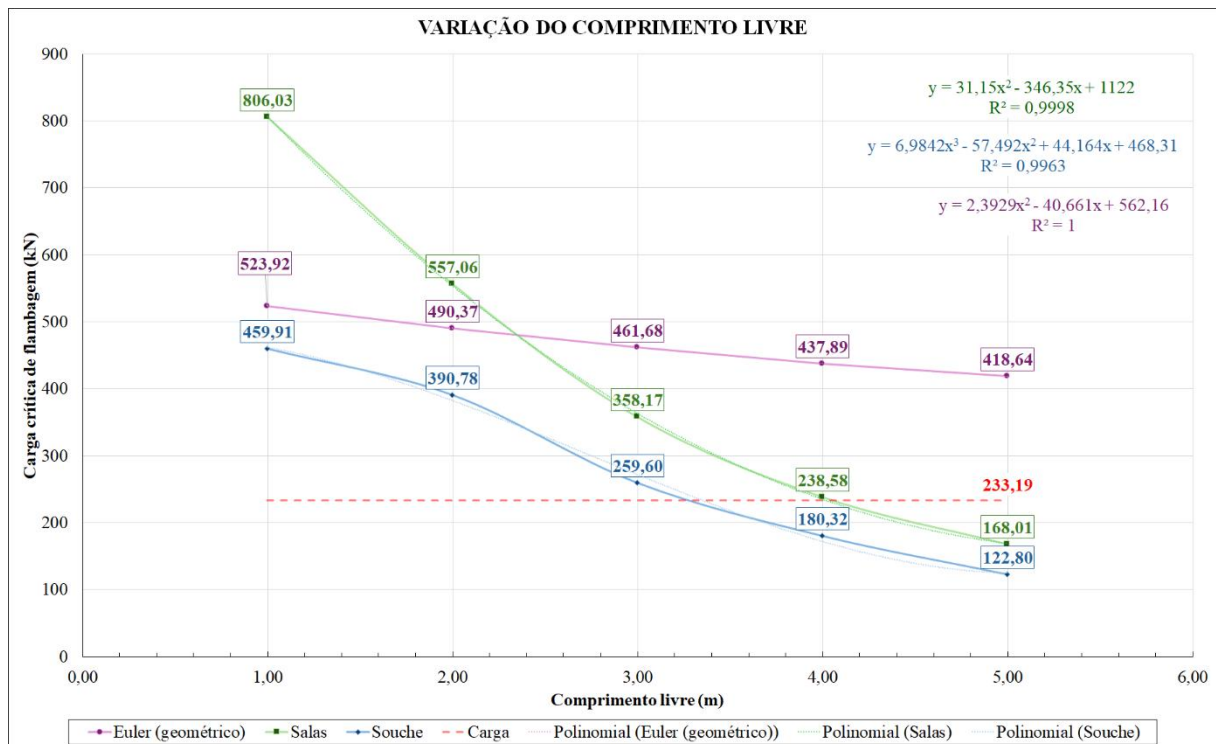


Figura 53 - Variação do comprimento livre - carga crítica

O gráfico também revela que apenas o método de Euler – geométrico (1936) não ultrapassou a barreira da carga de referência das ações majoradas (233,19 kN). Por outro lado, os métodos de Salas (1980) e Souche (1984) atingem valores inferiores à carga de referência nos comprimentos de aproximadamente 4,05 m e 3,23 m, respectivamente, indicando risco de instabilidade estrutural a partir desses pontos. Nota-se ainda que a proximidade entre os métodos é limitada, com exceção de dois casos específicos: Souche (1984) e Euler – geométrico (1936) para 1,0 m, e Salas (1980) e Souche (1984) para 5,0 m de comprimento livre. Nos demais pontos, observa-se divergência crescente. Em termos de comparação quantitativa, o método de Euler – geométrico (1936) apresenta, em média, 22,48% de diferença relativa em relação ao método de Salas (1980), com essa divergência se ampliando à medida que a espessura aumenta. Já o método de Salas (1980) difere em 18,06% do método de Souche (1984), enquanto Souche (1984) difere 28,43% em relação a Euler – geométrico (1936).

Assim como nos outros casos, convém destacar que para sintetizar as informações relacionadas à segurança estrutural e manter a coerência com os resultados gráficos apresentados, a Figura 54 exibe uma tabela com os valores correspondentes à carga crítica de encurvadura e ao fator de segurança (FS), os quais, neste caso, coincidem numericamente com o Estado Limite Último (ELU), conforme evidenciado previamente na Figura 37 - Síntese de todos os parâmetros utilizados nas ferramentas de cálculo. A tabela complementa a análise anterior ao evidenciar que, a partir do comprimento livre de 2,00 m, todos os métodos adotados (Euler - geométrico, Salas e Souche) indicam uma condição estrutural segura, apesar de todos apresentarem um FS superior a 1,00 com comprimento livre de 3,00 m.

Análise de sensibilidade - Comprimento livre - Carga crítica de flambagem				
Comprimento livre	Euler	Salas	Souche	FS e ELU
1,00 m	2,247	3,457	1,972	1,00
2,00 m	2,103	2,389	1,676	1,00
3,00 m	1,980	1,536	1,113	1,00
4,00 m	1,878	1,023	0,773	1,00
5,00 m	1,795	0,720	0,527	1,00

Figura 54 - Avaliação da segurança da variação do comprimento livre - carga crítica.

Em relação a tensão de compressão no aço, a Figura 55 apresenta a evolução em função do aumento do comprimento livre, comparando-se os valores obtidos com a resistência característica do aço utilizado. Observa-se que os métodos de Salas (1980) e Souche (1984) exibem curvas com comportamento parabólico crescente, evidenciando o aumento significativo da tensão atuante com o alongamento do elemento livre. Esse comportamento está associado à redução da rigidez da seção efetiva diante do aumento da esbeltez. Por outro lado, o método de Euler – geométrico (1936) apresenta tendência aproximadamente linear, com variação mais

moderada. Além disso, nota-se que os limites de segurança adotados são coincidentes entre os métodos, demonstrando convergência entre os critérios de verificação, especialmente nas faixas críticas. Tal comportamento também foi observado previamente na análise dos diâmetros tubulares, reforçando a consistência das abordagens adotadas.

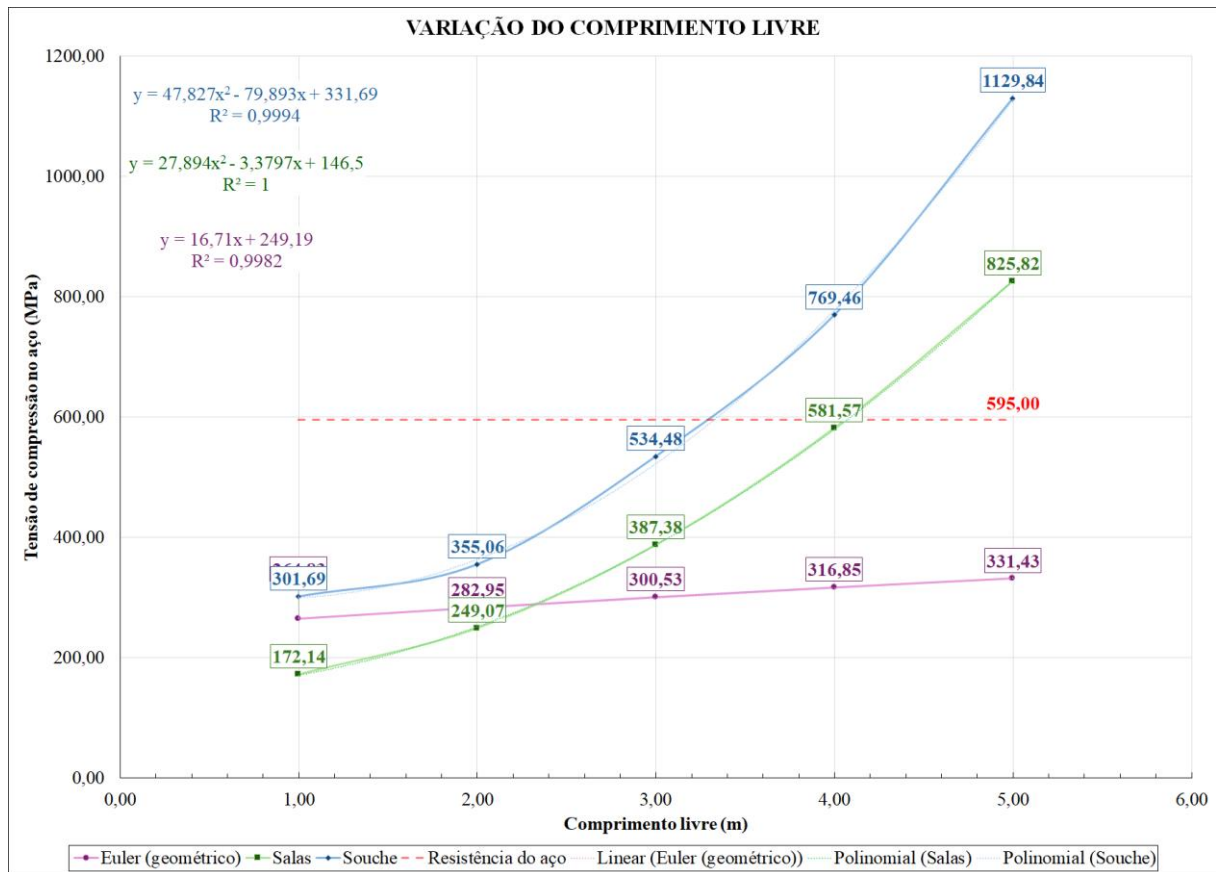


Figura 55 - Variação do comprimento livre - resistência do aço.

De modo geral sobre o comprimento livre, observa-se a diferença entre os métodos principalmente devido ao tipo de seção adotada. O método de Euler (1936) considera uma seção mista (calda + aço), sendo assim a rigidez é maior do que os outros métodos, logo ele é o menos sensível a variação. Salas (1980) e Souche (1984) utilizam uma seção transversal conservadora com apenas aço da armadura tubular, sendo assim eles possuem uma curva com comportamento semelhante, mas com valores diferentes devido a interpretação dos autores do comprimento efetivo da microestaca.

O método geométrico de Euler (1936) utiliza o comprimento livre mais a metade do comprimento da raiz da microestaca para representar o comprimento efetivo. O método de Salas (1980) adota o comprimento livre mais o comprimento da extremidade fictícia, enquanto o método de Souche (1984), conforme a referência utilizada na dissertação, considera o comprimento total da microestaca. Isso justifica a divergência dos métodos. Primeiro,

analisando o método mais sensível a variação, Salas (1980), o comprimento da extremidade fictícia  $L_{ef}$  é um valor pequeno, resultando em cargas críticas mais altas. O método não considera a rigidez de Winkler em sua fórmula, mas sim um encastramento simulado por meio do módulo de elasticidade da primeira camada de solo  $E_0$  e a camada da ponta da microestaca  $E_L$ . Já o método de Souche (1984) considera a rigidez de Winkler para determinar o número de meias ondas, além disso o comprimento total da microestaca reduz os valores da carga crítica.

#### 6.1.4.4º CASO – IMPACTO DA CORROSÃO

Conforme descrito na seção 5.4.1.1.4 o impacto da corrosão foi verificado para diferentes anos. Os dados de entrada e os resultados obtidos para a variação do comprimento livre podem ser visualizados no APÊNDICE A.4 – 4º CASO – IMPACTO DA CORROSÃO.

Nota-se que o impacto da corrosão na carga crítica de flambagem possui comportamento linear em todos os métodos, consoante as equações da linha de tendência. Novamente, o método de Salas (1980) é o mais sensível a variação do parâmetro, enquanto o método de Euler – geométrico (1936) e Souche (1984) possuem uma linearidade parecida que pode ser comprovada por meio da Figura 56. Os valores apresentados a seguir referem-se à média da redução da carga crítica de flambagem observada entre os três métodos de cálculo (Euler, Salas e Souche), considerando os efeitos da corrosão em relação à condição inicial (sem corrosão) para cada horizonte de tempo avaliado. Observa-se que a corrosão promove uma redução média de 31,05% na carga crítica em um cenário de 5 anos de vida útil. Para um projeto com 25 anos, a perda média atinge 37,39%. Aos 50 anos, a capacidade resistente da armadura de reforço pode ser reduzida em 45,45%. Já para os horizontes de 75 e 100 anos, as reduções médias alcançam 53,68% e 61,69%, respectivamente.

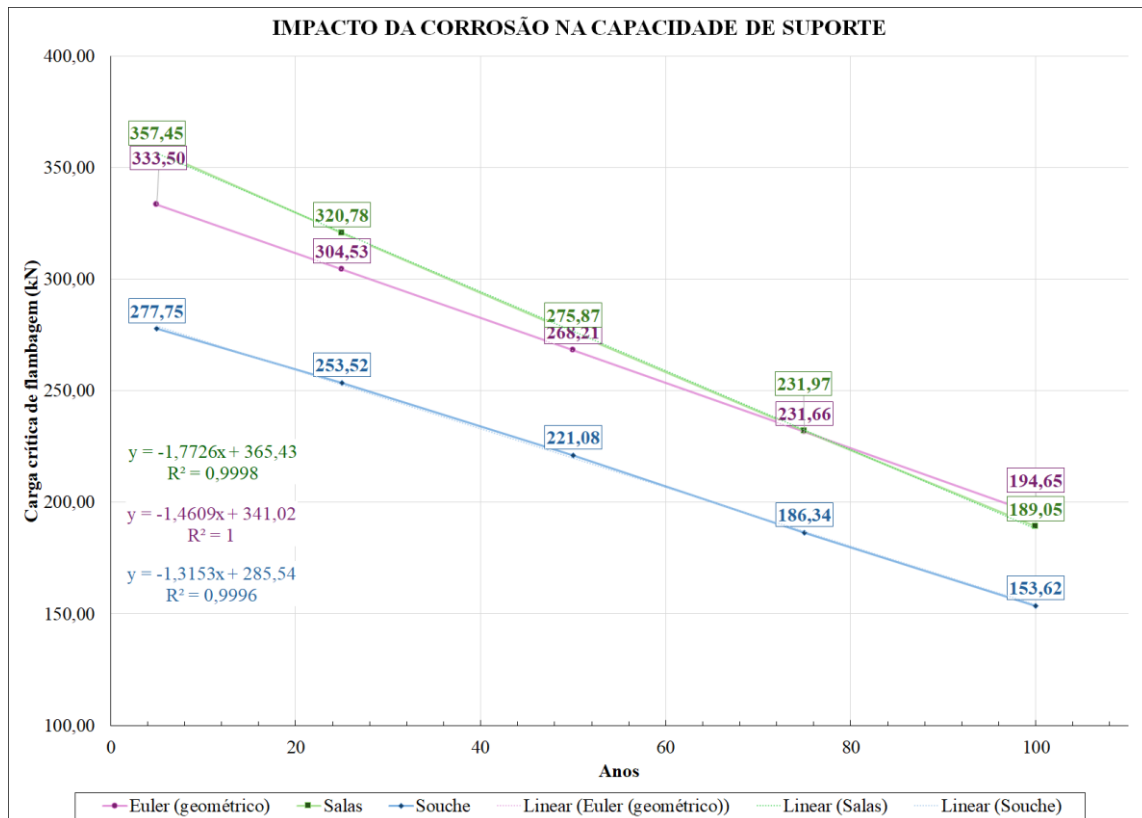


Figura 56 - Impacto da corrosão na capacidade de suporte.

Para resumir as informações relacionadas à segurança estrutural e manter a coerência com os resultados gráficos apresentados, a Figura 57 exibe uma tabela com os valores correspondentes à carga crítica de flambagem e ao fator de segurança (FS), os quais, neste caso, coincidem numericamente com o Estado Limite Último (ELU), conforme evidenciado na Figura 37 - Síntese de todos os parâmetros utilizados nas ferramentas de cálculo. A tabela complementa a análise anterior ao evidenciar que, “sem corrosão” é a condição mais segura estruturalmente, como já era esperado, entretanto até 25 anos todos os métodos possuem um condição de estabilidade estrutural. A partir de 50 anos, o método de Souche (1984) oferece condição estrutural incompatível, evidencia a necessidade de espessura adicional, adoção de camadas protetoras ou redução da vida útil de projeto.

Impacto da corrosão - Solo industrial - Pior situação (diferente do estudo de caso)				
Tempo	Euler	Salas	Souche	FS e ELU
Sem corrosão	2,103	2,389	1,595	1,00
5 anos	1,430	1,533	1,191	1,00
25 anos	1,306	1,376	1,087	1,00
50 anos	1,150	1,183	0,948	1,00
75 anos	0,993	0,995	0,799	1,00
100 anos	0,835	0,811	0,659	1,00

Figura 57 - Avaliação da segurança no impacto da corrosão na capacidade de suporte.

Em relação a tensão de compressão no aço, a Figura 58 apresenta o aumento da tensão de acordo com o ano previsto do reforço. Todos os métodos possuem o mesmo comportamento parabólico, o gráfico é importante para complementar todas as informações que foram descritas anteriormente. Sendo possível notar a concordância na sensibilidade do método de Salas (1980) e no limite da segurança estrutural (aproximadamente 25 anos para todos os métodos).

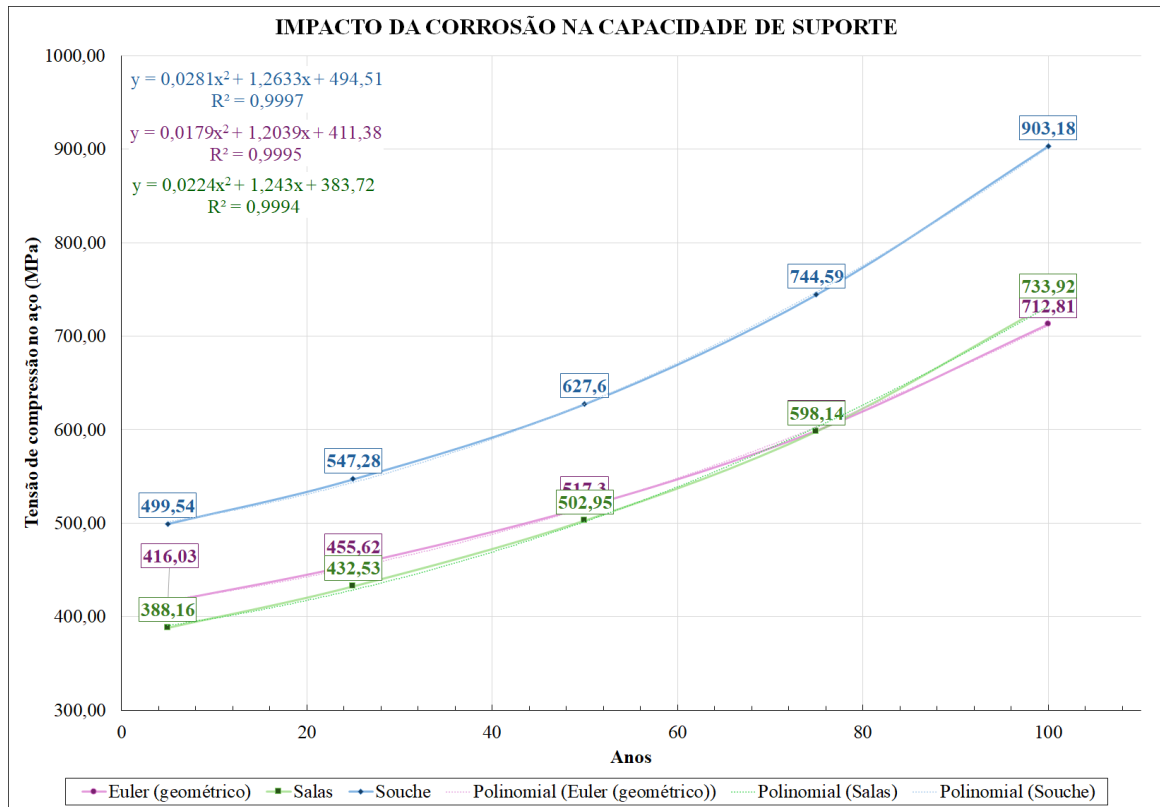


Figura 58 - Impacto da corrosão na resistência do aço.

A corrosão progressiva da parede tubular em ambiente industrial exerce impacto significativo sobre o desempenho estrutural da microestaca ao longo do tempo. A análise dos resultados mostra que, com o aumento da vida útil exigida, há uma redução linear da carga crítica de flambagem e um crescimento exponencial da tensão de compressão no aço. A utilização de tabelas de previsão de perda por corrosão, permite a definição racional de espessuras sacrificial e a avaliação crítica da durabilidade das microestacas em função do ambiente e da vida útil desejada. Portanto, o impacto da corrosão na resistência de projeto à flambagem é completamente linear nos métodos. Novamente, há maior sensibilidade do método de Salas (1980), isso é justificável, pois a corrosão reduz a espessura da parede tubular que impacta o comprimento de extremidade fictícia, ao reduzir o momento de inércia do aço da armadura tubular. Existe, ainda, uma convergência entre o 4º e 2º Caso pode ser evidenciada ao

analisar o gráfico dos resultados. Além disso nota-se o cruzamento das curvas dos métodos de Euler (1936) e Salas (1980) em ambos.

## 6.2. PRIMEIRA FERRAMENTA – CAPACIDADE GEOTÉCNICA

Os resultados discutidos nessa seção recebem dois gráficos: os dois tem como objetivo demonstrar a influência que a variação do parâmetro em destaque na análise ocasiona na resistência total da raiz da microestaca (resistência lateral + resistência de ponta). Os métodos que estão presentes no Geo5 são destacados com o símbolo do *software* no primeiro gráfico (gráfico de barras verticais). Enquanto no segundo gráfico das análises (gráfico de linhas), esses recebem uma linha tracejada.

### 6.2.1. 5º CASO – DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO

Diferentemente da análise estrutural, todos os métodos se comportam de maneira linear com a variação do diâmetro de perfuração. No entanto, o método de Aoki e Velloso (1975) demonstrou ser o método mais sensível, apresentando uma diferença porcentual de 258,88% entre a resistência total com diâmetro 120 mm e 300 mm. Seguido pelo método de Teixeira (1996) com 197,41% e Cabral (1986) com diferença de 190,99%. O método que menos teve variação foi o método de Lizzi (1982) com 84,22%. Apesar dos métodos de Zweck (1953), Bowles (1996) e o método teórico do Ministério de Fomento (2005) apresentarem baixa resistência total da raiz da microestaca. Para essa primeira verificação nota-se que os métodos destinados para estacas raiz e escavadas foram mais impactados. A Figura 59 mostra uma tabela com os resultados, além de identificar os métodos por cor e letra. Os métodos destacados pela cor verde e letra E são destinados as estacas escavadas e raiz (convencionais no geral). A cor azul e letra A indica os métodos formulados para o dimensionamento de ancoragens. Por fim, a cor cinza e letra M mostram os métodos destinados para microestaca.

DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO												
Grupo	Método	120 mm	140 mm	160 mm	180 mm	200 mm	220 mm	240 mm	260 mm	280 mm	300 mm	Variação
E	Aoki e Velloso	1020,16	1247,78	1491,86	1752,39	2029,38	2322,82	2632,73	2959,08	3301,90	3661,17	258,88%
E	Teixeira	1218,22	1451,21	1692,75	1942,85	2201,51	2468,72	2744,50	3028,82	3321,71	3623,15	197,41%
E	Cabral	910,33	1081,40	1258,00	1440,12	1627,77	1820,95	2019,66	2223,90	2433,66	2648,95	190,99%
E	Brasfond	1033,31	1223,13	1417,97	1617,83	1822,72	2032,64	2247,59	2467,56	2692,55	2922,58	182,84%
E	Décourt e Quaresma	1132,41	1332,66	1536,21	1743,05	1953,17	2166,59	2383,30	2603,30	2826,60	3053,18	169,62%
A	Littlejohn e Bruce	1225,22	1429,42	1633,63	1837,83	2042,04	2246,24	2450,44	2654,65	2858,85	3063,05	150,00%
M	MF - Empírico	856,44	999,18	1141,92	1284,66	1427,40	1570,14	1712,88	1855,62	1998,36	2141,10	150,00%
M	Bustamante e Doix	1348,12	1572,80	1797,49	2022,18	2246,86	2471,55	2696,23	2920,92	3145,61	3370,29	150,00%
M	MF - Teórico	255,75	298,37	341,00	383,62	426,25	468,87	511,50	544,12	596,75	639,37	150,00%
A	Bowles	186,53	217,62	248,71	279,79	310,88	341,97	373,06	404,15	435,24	466,32	150,00%
E	Zweck	359,98	419,97	479,97	539,96	599,96	659,96	719,95	779,95	839,94	899,94	150,00%
M	Lizzi	934,31	1048,40	1163,15	1278,55	1392,51	1500,85	1597,30	1673,49	1718,97	1721,19	84,22%

Figura 59 - Variação do diâmetro de perfuração.

A Figura 60 mostra os resultados em uma abordagem diferente, por meio do gráfico de linhas.

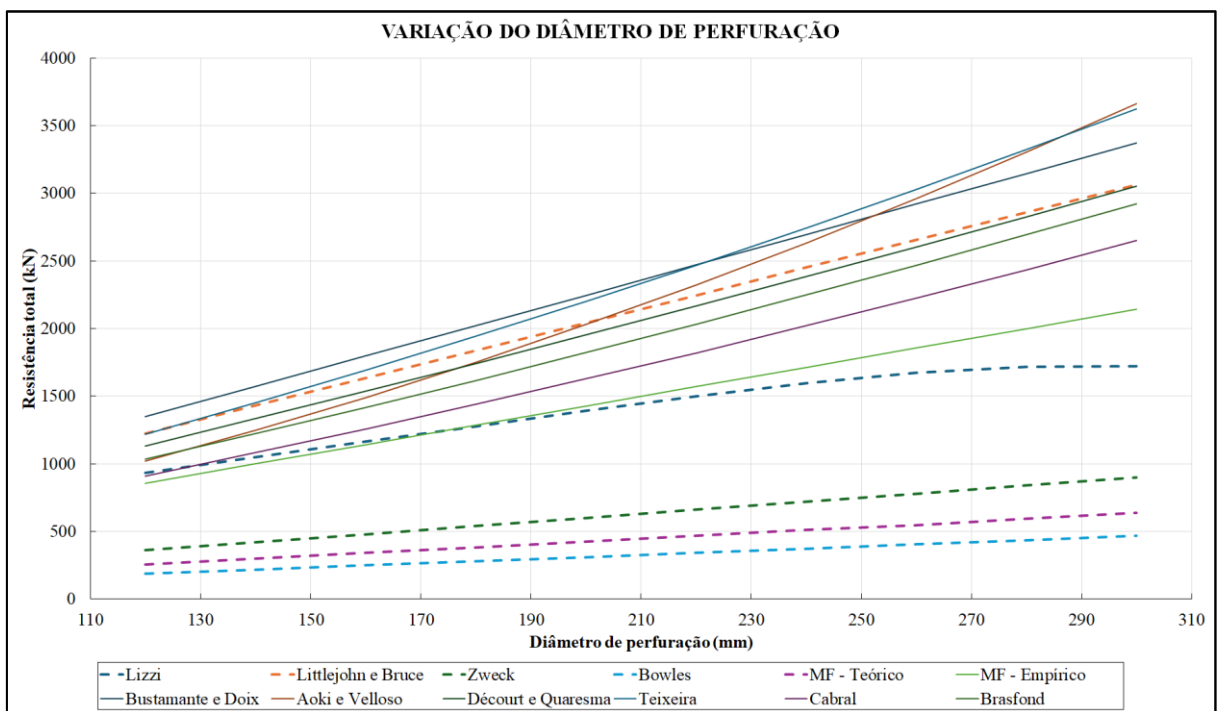


Figura 60 - Variação do diâmetro de perfuração.

Analogamente as análises estruturais, a capacidade da carga do suporte da raiz está intrinsecamente relacionada com a verificação da segurança. Foram utilizados também coeficientes parciais de redução para a coesão e o ângulo de atrito no valor de 1,25 para ambos para o Estado Limite. Os valores de referência para o Fator de Segurança Global e os coeficientes parciais para o Estado Limite Último estão referenciados na Figura 37 - Síntese de todos os parâmetros utilizados nas ferramentas de cálculo. De acordo com a Figura 61, a maioria dos métodos clássicos e presentes no *software* ofereceram uma condição de estabilidade segura,

tanto para o Fator de Segurança, quanto para o Estado Limite Último, com exceção dos métodos: Zweck (1953), Bowles (1996) e o método teórico do Ministério de Fomento (2005).

Método	FATOR DE SEGURANÇA GLOBAL NORMALIZADO										ESTADO LIMITE ÚLTIMO									
											F <sub>Sg</sub>	γ total			γ ponta			γ lateral		
										2,00	1,50			1,60			1,30			
Lizzi	2,003	2,248	2,494	2,741	2,986	3,218	3,425	3,588	3,686	3,691	2,671	2,997	3,325	3,655	3,981	4,291	4,567	4,784	4,914	4,921
Littlejohn e Bruce	2,627	3,065	3,503	3,941	4,378	4,816	5,254	5,692	6,130	6,568	3,503	4,087	4,670	5,254	5,838	6,422	7,006	7,589	8,173	8,757
Zweck	0,772	0,900	1,029	1,158	1,286	1,415	1,544	1,672	1,801	1,930	0,823	0,961	1,098	1,235	1,372	1,509	1,647	1,784	1,921	2,058
Bowles	0,400	0,467	0,533	0,600	0,667	0,733	0,800	0,867	0,933	1,000	0,427	0,498	0,569	0,640	0,711	0,782	0,853	0,924	0,995	1,067
MF - Teórico	0,548	0,640	0,731	0,823	0,914	1,005	1,097	1,188	1,280	1,371	0,877	1,024	1,170	1,316	1,462	1,609	1,755	1,901	2,047	2,193
MF - Empírico	1,836	2,142	2,448	2,755	3,061	3,367	3,673	3,979	4,285	4,591	2,756	3,215	3,675	4,134	4,593	5,053	5,512	5,971	6,431	6,890
Bustamante e Doix	2,891	3,372	3,854	4,336	4,818	5,299	5,781	6,263	6,745	7,226	4,338	5,061	5,784	6,507	7,231	7,954	8,677	9,400	10,123	10,846
Aoki e Velloso	2,187	2,675	3,199	3,757	4,351	4,981	5,645	6,345	7,080	7,850	3,182	3,867	4,596	5,368	6,185	7,047	7,952	8,901	9,895	10,932
Décourt e Quaresma	2,428	2,857	3,294	3,737	4,188	4,646	5,110	5,582	6,061	6,547	3,699	4,346	5,002	5,667	6,341	7,024	7,715	8,416	9,125	9,843
Teixeira	2,612	3,112	3,630	4,166	4,720	5,293	5,885	6,494	7,122	7,769	3,483	4,149	4,839	5,554	6,294	7,058	7,846	8,659	9,496	10,358
Cabral	1,952	2,319	2,697	3,088	3,490	3,904	4,331	4,768	5,218	5,680	2,941	3,483	4,040	4,612	5,199	5,800	6,416	7,047	7,693	8,353
Brasfond	2,216	2,623	3,040	3,469	3,908	4,358	4,819	5,291	5,773	6,267	3,353	3,959	4,578	5,211	5,857	6,517	7,190	7,877	8,577	9,291
Diâmetros (mm)	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
OBSERVAÇÃO	Os valores devem ser superiores ou iguais a 1,00 (FS normalizado)										Os valores devem ser superiores ou iguais a 1,00 (ELU)									

Figura 61 - Verificação da segurança para a variação do diâmetro de perfuração.

Portanto, no 5º Caso, o método mais sensível foi Aoki e Velloso (1975) e o que teve menos variação na resistência total foi o método de Lizzi (1982). Métodos destinados a estacas raiz e escavadas também sofreram uma variação maior, como Teixeira (1996) e Cabral (1986). A justificativa para esse cenário é devida aos fatores específicos de cada formulação. O método de Aoki e Velloso (1975), considera a parcela da resistência de ponta  $R_{ponta}$ , que por sua vez adota um coeficiente em razão do atrito  $K$  mais elevado para areias, além disso o número de pancadas  $N_{SPT}$  que o método considera também impacta na  $R_{ponta}$ . Sendo assim, aumentando o diâmetro, consequentemente a área da ponta é incrementada aumentando a resistência total da microestaca. Essa afirmativa é válida para todos os métodos que consideram  $R_{ponta}$ , como pode ser observado nos resultados. Por outro lado, originalmente o método de Lizzi (1982) adota apenas a resistência lateral  $R_{lateral}$ , e ainda possui um coeficiente de ajuste do diâmetro de perfuração  $J$ , o que favorece os resultados obtidos.

### 6.2.2.6º CASO – COMPRIMENTO DA RAIZ

Paralelo a análise do diâmetro de perfuração, a variação do comprimento da raiz também apresenta um comportamento linear no crescimento da resistência total da microestaca em todos os métodos. Visualmente, o método de Bustamante e Doix (1985) destaca por apresentar inicialmente um valor de resistência muito elevado, mas dessa vez, o método de Zweck (1953) foi o mais sensível quando comparado o valor inicial com o final, a diferença foi de 73,32%. O método de Bowles (1996) também apresentou uma variação significativa de 71,73%, seguido pelo método teórico do Ministério de Fomento (2005) com 62,61%, destacando também o

método de Bustamante e Doix (1985) que ficou com 40,00%. Os outros métodos ficaram com a diferença abaixo de 35%. Assim como no caso anterior a Figura 62 mostra uma tabela com os resultados, além de identificar os métodos por cor e letra. Os métodos destacados pela cor verde e letra E são destinados as estacas escavadas e raiz (convencionais no geral). A cor azul e letra A indica os métodos formulados para o dimensionamento de ancoragens. Por fim, a cor cinza e letra M mostram os métodos destinados para microestaca. Enquanto a Figura 63 demonstra uma visualização gráfica por meio de linhas dos resultados obtidos.

COMPRIMENTO DA RAIZ							
Grupo	Método	13 m	14 m	15 m	16 m	17 m	Variação
E	Zweck	479,97	559,06	644,07	735,01	831,87	73,32%
A	Bowles	248,71	288,80	331,91	378,01	427,11	71,73%
M	MF - Teórico	341,00	390,92	443,15	497,68	554,51	62,61%
M	Bustamante e Doix	1797,49	1972,75	2148,02	2323,28	2498,55	39,00%
M	MF - Empírico	1141,92	1250,90	1359,88	1468,86	1577,84	38,17%
E	Décourt e Quaresma	1536,21	1669,41	1802,62	1935,82	2069,02	34,68%
E	Cabral	1258,00	1361,20	1464,41	1567,62	1670,83	32,82%
M	Lizzi	1163,15	1252,62	1342,09	1431,57	1521,04	30,77%
A	Littlejohn e Bruce	1633,63	1759,29	1884,96	2010,62	2136,28	30,77%
E	Brasfond	1417,97	1514,67	1611,37	1708,07	1804,77	27,28%
E	Teixeira	1692,75	1801,90	1911,05	2020,19	2129,34	25,79%
E	Aoki e Velloso	1491,86	1584,01	1676,16	1768,32	1860,47	24,71%

Figura 62 - Variação do comprimento da raiz.

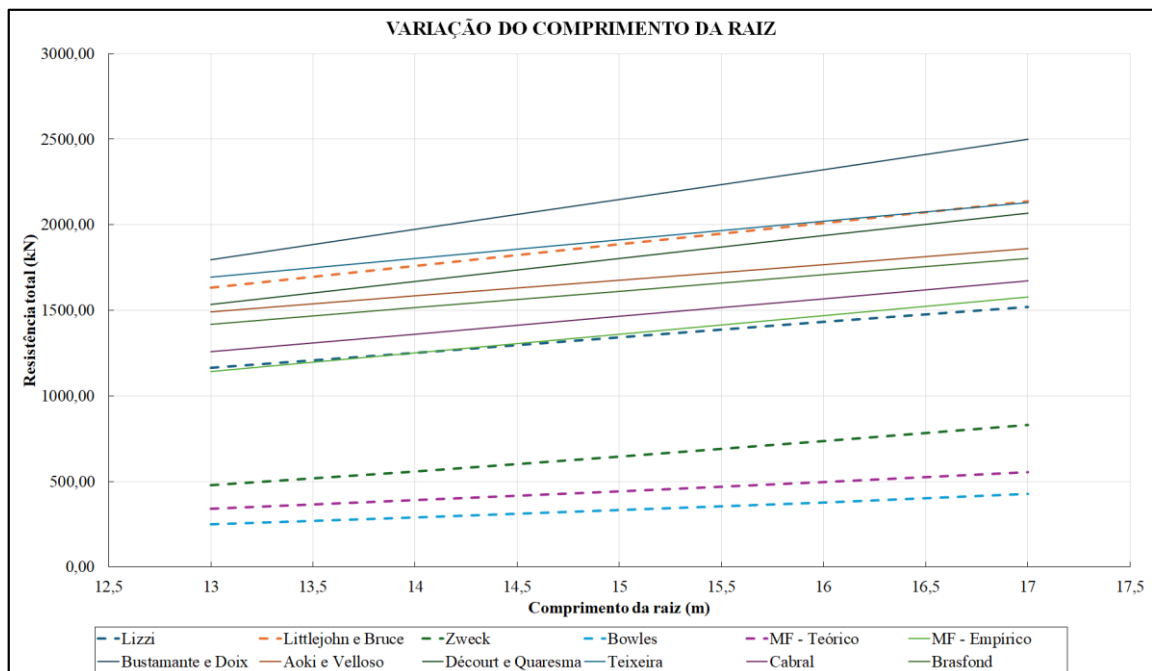


Figura 63 - Variação do comprimento da raiz - gráfico de linhas.

Bem como a análise anterior, foram utilizados também coeficientes parciais de redução para a coesão e o ângulo de atrito no valor de 1,25 para ambos para o Estado Limite. Os valores de referência para o Fator de Segurança Global e os coeficientes parciais para o Estado Limite Último estão referenciados na Figura 37 - Síntese de todos os parâmetros utilizados nas ferramentas de cálculo. De acordo com a Figura 64, a grande maioria dos métodos corresponderam a uma abordagem capacitiva segura ao superar o coeficiente de segurança limite. O método de Bowles (1996), foi o único que não atendeu nenhum critério de segurança. Adicionalmente, o método de Bustamante e Doix (1985) fornece os maiores coeficientes de segurança independente do critério aplicado, conforme pode ser observado.

Método	FATOR DE SEGURANÇA GLOBAL NORMALIZADO				FSg 2,00	ESTADO LIMITE ÚLTIMO			$\gamma$ total	$\gamma$ ponta	$\gamma$ lateral
									1,50	1,60	1,30
Lizzi	2,494	2,686	2,878	3,070	3,261	3,325	3,581	3,837	4,093	4,349	
Littlejohn e Bruce	3,503	3,772	4,042	4,311	4,581	4,670	5,030	5,389	5,748	6,107	
Zweck	1,029	1,199	1,381	1,576	1,784	1,098	1,279	1,473	1,681	1,903	
Bowles	0,533	0,619	0,712	0,811	0,916	0,569	0,661	0,759	0,865	0,977	
MF - Teórico	0,731	0,838	0,950	1,067	1,189	1,170	1,341	1,520	1,707	1,902	
MF - Empírico	2,448	2,682	2,916	3,149	3,383	3,675	4,025	4,376	4,727	5,078	
Bustamante e Doix	3,854	4,230	4,606	4,982	5,357	5,784	6,348	6,912	7,476	8,040	
Aoki e Velloso	3,199	3,396	3,594	3,792	3,989	4,596	4,900	5,204	5,507	5,811	
Décourt e Quaresma	3,294	3,580	3,865	4,151	4,436	5,002	5,442	5,881	6,321	6,760	
Teixeira	3,630	3,864	4,098	4,332	4,566	4,839	5,151	5,463	5,776	6,088	
Cabral	2,697	2,919	3,140	3,361	3,583	4,040	4,381	4,721	5,062	5,402	
Brasfond	3,040	3,248	3,455	3,662	3,870	4,578	4,897	5,216	5,535	5,854	
Comprimento (m)	13	14	15	16	17	13	14	15	16	17	
OBSERVAÇÃO	Valores devem ser $\geq 1,00$ (FS normalizado)					Valores devem ser $\geq 1,00$ (ELU)					

Figura 64 - Verificação da segurança para a variação do comprimento da raiz.

Concluindo os resultados desse caso, os métodos de Zweck (1953), Bowles (1996) e o método teórico – Ministério de Fomento (2005) tiveram uma variação maior do que os outros. A principal justificativa para esse fato é a presença dos parâmetros de resistência do solo e o peso específico, que influenciam no empuxo do solo em repouso e na tensão geostática vertical ao longo do fuste/raiz, respectivamente. Com o aumento do comprimento da raiz, tem-se o aumento da tensão vertical. Em contrapartida, os demais métodos consideram o atrito superficial lateral ou outros fatores que tendem a representá-lo. Vale destacar que os métodos que não consideram uma análise por camada – Lizzi (1982), Littlejohn e Bruce (1975), Teixeira (1996), Cabral (1986) e Brasfond (1991) tiveram uma variação menor, com exceção de Aoki e Velloso (1975), que considera análise por camada de solo, mas teve uma variação menor devido a um coeficiente de correção  $F_2$ .

### 6.2.3. 7º CASO – IMPACTO DA PRESSÃO DE INJEÇÃO NOS MÉTODOS

Primeiramente, convém destacar que as informações paramétricas, dados de entrada e os resultados da ferramenta de cálculo podem ser consultados nas figuras presente no APÊNDICE A.7 – 7º CASO – PRESSÃO DE INJEÇÃO.

A pressão de injeção impacta apenas 3 dos métodos estudados: Littejohn e Bruce (1975), método teórico do Ministério de Fomento (2005) e Cabral (1986). Em todos os métodos a curva da linha de tendência teve um comportamento completamente linear, como é perceptível pelo valor do coeficiente de determinação das equações no gráfico da Figura 65. É notável que o método mais dependente da pressão e que promove uma variação linear mais inclinada é o proposto por Littlejohn e Bruce (1977), visto que o valor da resistência total é dobrado, sendo assim a diferença percentual é de exatamente 100,00%. Logo em seguida, tem-se o método descrito por Cabral (1986), que apresentou uma diferença de 98,22%. Para esses dois métodos pode-se concluir que a pressão de injeção tem uma influência diretamente proporcional na resistência total. Por fim, o método teórico do Ministério de Fomento (2005), não foi muito afetado ao proporcionar uma diferença de 44,08%.

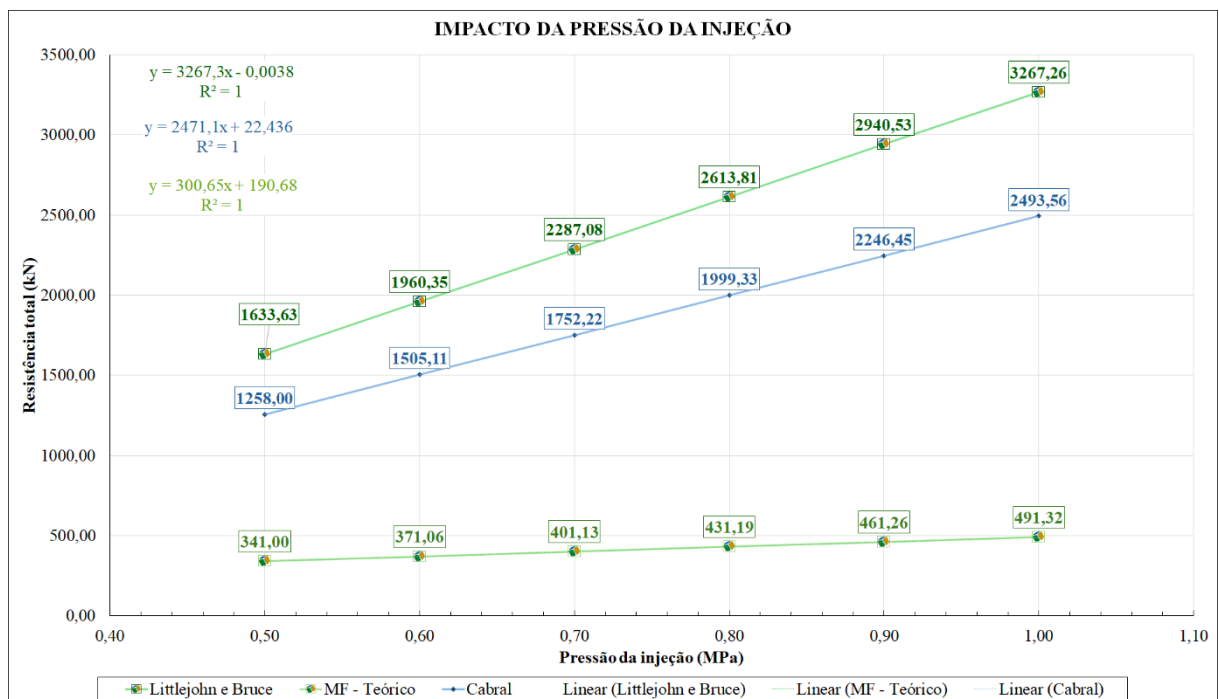


Figura 65 - Impacto da pressão da injeção nos métodos.

Foram utilizados também coeficientes parciais de redução para a coesão e o ângulo de atrito no valor de 1,25 para ambos no Estados Limite. Os valores de referência para o Fator de Segurança Global e os coeficientes parciais para o Estado Limite Último estão referenciados na Figura 37 - Síntese de todos os parâmetros utilizados nas ferramentas de cálculo. Segundo a

Figura 66, os métodos de Littlejohn e Bruce (1977) e Cabral (1986) apresentam variações e resultados próximos, além de garantir uma condição geotécnica estável para qualquer valor de pressão de injeção (IGU) dentro do intervalo estabelecido. Em contrapartida, o método teórico do Ministério de Fomento (2005) atende aos critérios do Estado Limite Último para todas as pressões, mas para o Fator de Segurança global, apenas com a pressão de 1,0 MPa que condiciona um retorno satisfatório para o método.

Método	FATOR DE SEGURANÇA GLOBAL NORMALIZADO					FSg 2,00	ESTADO LIMITE ÚLTIMO			$\gamma$ total	$\gamma$ ponta	$\gamma$ lateral
										1,50	1,60	1,30
Littlejohn e Bruce	3,503	4,203	4,904	5,604	6,305	7,006	4,670	5,604	6,539	7,473	8,407	9,341
MF - Teórico	0,731	0,796	0,860	0,925	0,989	1,053	1,170	1,273	1,376	1,479	1,582	1,686
Cabral	2,697	3,227	3,757	4,287	4,817	5,347	4,040	4,834	5,628	6,421	7,215	8,009
Pressão de injeção (MPa)	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
OBSERVAÇÃO	Valores devem ser $\geq 1,00$ (FS normalizado)					Valores devem ser $\geq 1,00$ (ELU)						

Figura 66 - Verificação da segurança para diferentes pressões de injeção (IGU).

Concluindo, o comportamento da curva para o impacto da pressão de injeção é completamente linear. Nesse caso apenas os métodos que consideram a pressão direto na fórmula, foram impactados. O método de Littlejohn e Bruce (1977) e Cabral (1986) respondem melhor a variação da pressão, pelo fato de utilizarem diretamente o valor da pressão de injeção  $p_i$ , o método de Cabral ainda considera a pressão de injeção  $p$  dentro de um fator  $\beta_0$ , por isso não possui uma diferença porcentual de 100% igual ao primeiro método citado. Por outro lado, o método teórico – Ministério de Fomento (2005) faz um sistema de redução da pressão por camada que não é explicado em nenhuma referência. A pressão da injeção  $p_i$  deve ser multiplicada pelo coeficiente de empuxo em repouso do solo  $K_0$  após 5 metros de profundidade para ter seu valor efetivo de cálculo. Diante dessa situação, o método possui uma reta mais suavizada quando comparada com os outros dois métodos.

### 6.3. SEGUNDA FERRAMENTA

Os resultados da segunda ferramenta foram destinados para os parâmetros de saída. A ferramenta sempre devolve o valor mínimo possível para atender os critérios de segurança do NP EN 1993-1-1 (2004). Os parâmetros são auxiliares para direcionar análises iniciais e pré-dimensionamento. Vale ponderar que os métodos utilizados foram: Bustamante e Doix (1985) e Método Geométrico de Euler para a capacidade geotécnica e estrutural, respectivamente. E o tipo de injeção é global (IGU).

### 6.3.1.1º CASO – COMPRIMENTO DA RAIZ

Nessa seção, os dados de entrada principal é o comprimento de raiz. Para 13 m, a ferramenta estimou um diâmetro de perfuração mínimo de 120 mm. A capacidade estrutural devolveu uma armadura tubular com as dimensões:

- Diâmetro tubular = 63,3 mm;
- Espessura = 6,4 mm;
- Comprimento livre = 3,50 m;
- Tipo de seção = Formado a frio;
- Classe (EC3) = Classe I;
- Área do aço = 0,001140 m<sup>2</sup>;
- Rigidez à flexão = 98,46 kNm<sup>2</sup>.

Para 16 m de comprimento, a ferramenta estimou um diâmetro de perfuração mínimo de 120 mm. A capacidade estrutural devolveu uma armadura tubular com as dimensões:

- Diâmetro tubular = 70,3 mm;
- Espessura = 3,6 mm;
- Comprimento livre = 2,25 m;
- Tipo de seção = Formado a frio;
- Classe (EC3) = Classe I;
- Área do aço = 0,000754 m<sup>2</sup>;
- Rigidez à flexão = 88,35 kNm<sup>2</sup>.

Por fim, para 19 m, a ferramenta estimou um diâmetro de perfuração mínimo de 120 mm. A capacidade estrutural devolveu uma armadura tubular com as dimensões:

- Diâmetro tubular = 67,3 mm;
- Espessura = 4,0 mm;
- Comprimento livre = 2,25 m;
- Tipo de seção = Formado a frio;
- Classe (EC3) = Classe I;
- Área do aço = 0,000795 m<sup>2</sup>;
- Rigidez à flexão = 84,00 kNm<sup>2</sup>.

A Figura 67 mostra o resumo das informações descritas acima.

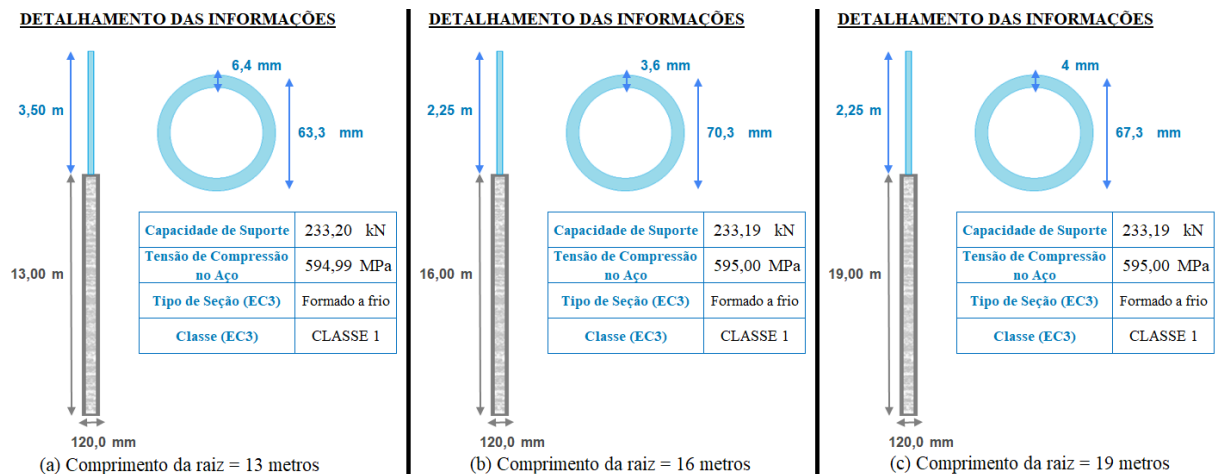


Figura 67 - Detalhamento das informações - Comprimento da raiz - 2ª Ferramenta.

### 6.3.2.2º CASO – DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO

O 2º Caso da 2ª Ferramenta adota o diâmetro de perfuração como o principal dado de entrada. Para 120 mm de diâmetro, a ferramenta retornou um comprimento mínimo da raiz de 6,14 m. Em relação a capacidade estrutural, foi retornado uma armadura tubular com as dimensões:

- Diâmetro tubular = 64,3 mm;
- Espessura = 6,5 mm;
- Comprimento livre = 2,50 m;
- Tipo de seção = Formado a frio;
- Classe (EC3) = Classe I;
- Área do aço = 0,001180 m<sup>2</sup>;
- Rigidez à flexão = 104,82 kNm<sup>2</sup>.

Para 160 mm de diâmetro de perfuração, a ferramenta estimou um comprimento de raiz mínimo de 5,13 m. A capacidade estrutural devolveu uma armadura tubular com as dimensões:

- Diâmetro tubular = 73,0 mm;
- Espessura = 4,1 mm;
- Comprimento livre = 2,50 m;
- Tipo de seção = Formado a frio;
- Classe (EC3) = Classe I;
- Área do aço = 0,000887 m<sup>2</sup>;
- Rigidez à flexão = 110,98 kNm<sup>2</sup>.

Por fim, para 200 mm de diâmetro de perfuração, a ferramenta estimou um comprimento da raiz mínimo de 4,34 m. A capacidade estrutural devolveu uma armadura tubular com as dimensões:

- Diâmetro tubular = 101,6 mm;
- Espessura = 3,0 mm;
- Comprimento livre = 5,00 m;
- Tipo de seção = Formado a frio;
- Classe (EC3) = Classe III;
- Área do aço = 0,000472 m<sup>2</sup>;
- Rigidez à flexão = 237,37 kNm<sup>2</sup>.

A Figura 68 mostra as informações detalhada e uma ilustração sem escala da microestaca.

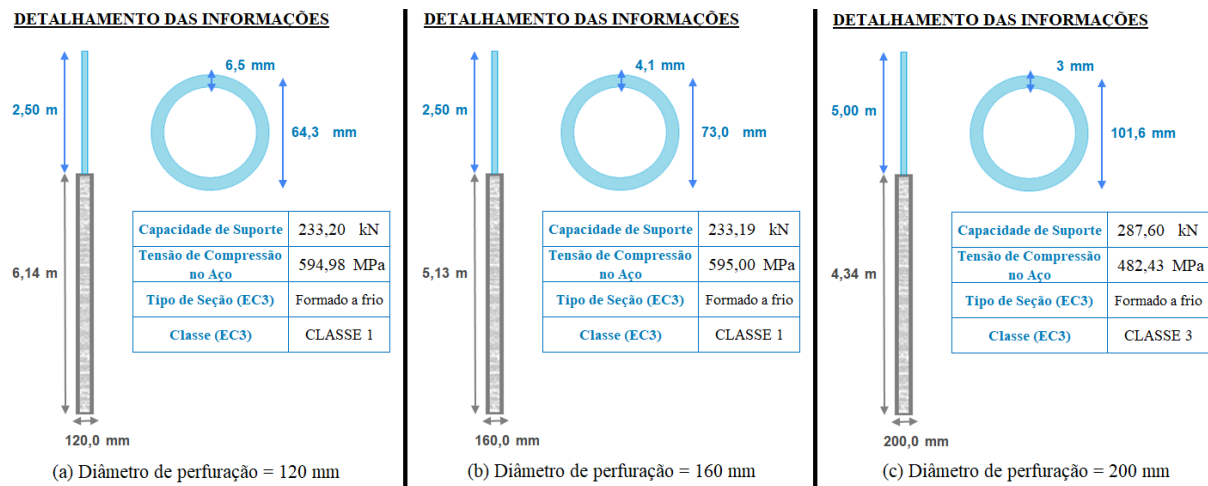


Figura 68 - Detalhamento das informações - Diâmetro de perfuração - 2ª Ferramenta.

### 6.3.3.3º CASO – VALIDAÇÃO DA FERRAMENTA

Dados de entrada na 2ª Ferramenta:

- Comprimento da raiz = 13 metros;
- Posicionamento da microestaca = Comprimento livre acima do solo;
- Carga referência = 233,19 kN;
- Tipo de injeção = IGU;
- FS (estrutural) = 1,00;
- FS (raiz) = 2,00;
- Rigidez da Winkler = 6 MN/m<sup>3</sup>;
- Tipo de seção = Formado a frio;
- Capacidade estrutural = Método Geométrico de Euler (1936);

- Capacidade geotécnica = Método de Bustamante e Doix (1985).

A Figura 69 mostra os resultados devolvidos pela 2ª Ferramenta.



Figura 69 - Resultados da validação da 2ª Ferramenta.

A microestaca pré-dimensionada acima foi utilizada na 1ª Ferramenta, conforme pode ser visualizado na Figura 70 e Figura 71.

CAPACIDADE ESTRUTURAL						
Método	ESTABILIDADE INTERNA DA SEÇÃO			CAPACIDADE DE SUPORTE DA SEÇÃO TRANSVERSAL		
	Ábaco	Capacidade (escolher opção)	N <sub>cr</sub> (kN)	N <sub>b,Rd</sub> (kN)	Tensão Compressão No aço (MPa)	VIDA ÚTIL (mm <sup>2</sup> )
Euler	X	Rótula - apoio fixo	338,47	233,20	594,99	542,33
Salas	X	Rótula	137,61	111,01	1249,84	
Pierre Souche	25	Ábaco de Souche	89,23	75,30	1842,59	
				FORÇA NORMAL (kN)	Resistência do aço (MPa)	
				233,19	595,00	
FATOR DE SEGURANÇA GLOBAL				ESTADO LIMITE ÚLTIMO		
Método	FS carga crítica	FS tensão no aço		Método	γ <sub>inf</sub> - carga crítica	γ <sub>ss</sub> - aço tubular
Euler	1,000	1,000		Euler	1,000	1,000
Salas	0,476	0,476	1,000	Salas	0,476	1,000
Pierre Souche	0,323	0,323		Pierre Souche	0,323	

Figura 70 - Validação da capacidade estrutural na 1ª Ferramenta.

CAPACIDADE GEOTÉCNICA													
CAPACIDADE DE SUPORTE DA SEÇÃO DA RAIZ													
Método	Lizzi	Littlejohn	Zweck	Bowles	MF - Método Teórico	MF - Método Empírico	Bustamante e Doix	Aoki-Veloso	Décourt-Quaresma	Teixeira	Cabral	Brasfond	
Rek (kN)	934,31	0,00	204,32	107,61	82,50	603,06	1197,16	805,90	822,71	1218,22	11,96	808,48	
FS	Re <sub>d</sub> (kN)	467,15	0,00	102,16	53,81	41,25	301,53	402,95	411,36	609,11	5,98	404,24	
	FS raiz	2,003	0,000	0,438	0,231	0,177	1,293	2,567	1,728	1,764	2,612	0,026	1,734
ELU	Re <sub>d</sub> (kN)	622,87	0,00	108,97	57,39	66,00	452,55	898,37	577,20	624,31	812,15	8,94	608,86
	γ <sub>r</sub> - raiz	2,671	0,000	0,467	0,246	0,283	1,941	3,853	2,475	2,677	3,483	0,038	2,611

Figura 71 - Validação da capacidade geotécnica na 1ª Ferramenta.

O *software* Geo5 fornece um relatório que detalha as informações necessárias que pode ser verificado na Figura 72. Conforme pode ser observado, os valores destinados a capacidade de suporte de raiz da microestaca estão convergentes com os valores das duas ferramentas. No Geo5 foi utilizado o método de Lizzi (1982) que calculou uma resistência lateral de 940,97 kN, enquanto na 2ª Ferramenta foi usado o método de Bustamante e Doix (1985). A 1ª Ferramenta permite visualizar os dois métodos, a teoria de Lizzi (1982) forneceu 934,31 kN e para Bustamante e Doix (1985) 1197,16 kN. Para a capacidade estrutural, tanto o Geo5 quanto as outras duas ferramentas utilizaram o método geométrico de Euler (1936). Em relação a carga crítica, o *software* original calculou um valor de 338,47 kN, exatamente o mesmo valor determinado pelas duas ferramentas, conforme pode ser visto na Figura 70 que relaciona diretamente ambas as planilhas de cálculos. A resistência de carga à flambagem não é determinada explicitamente pelo Geo5. Em contrapartida, as tensões no aço apresentaram valores diferentes entre as ferramentas e o Geo5.

Projeto de Dissertação - Reforço de fundação de edifícios com micro estacas

Lucas de Freitas Souza

**Análise da microestaca**

**Introduzir dados**

**Geometria**

Diâmetro = 63,3 mm  
 Espessura do muro = 6,4 mm

Comp. livre da estaca  $l = 3,50$  m  
 Comp. da raiz  $l_r = 13,00$  m  
 Diâmetro da raiz  $d_r = 0,12$  m  
 Inclinação vertical da estaca  $\alpha = 0,00^\circ$   
 Desloc. da cabeça das estacas  $l_a = 3,50$  m

**Verificação Não. 1**

**Verificação da secção transv. 1**

Análise realizada para uma seleção automática das combinações de cargas mais desfavoráveis.

**Verif. da estabilidade interna: método geométrico (Euler)**  
 cálculo do comp. efetivo da secção - cap. suporte (articulada-fixa).

Módulo da reação horizontal do subsolo  $E_p = 6,00$  MN/m<sup>3</sup>  
 Calcular número de ondas  $n = 4,37$   
 Comp. efetivo  $l_{cr} = 1,77$  m

Força normal crítica  $N_{cr} = 338,47$  kN  
 Força normal máxima  $N_{max} = 233,00$  kN

Fator de segurança = 1,45 > 1,00  
**Estab. interna da secção da microestaca É SATISFATÓRIA**

**Verificação de cap. de suporte da secção acoplada:**

Área da secção transv. ideal  $A_y = 1,41E+03$  mm<sup>2</sup>  
 Momento de inércia da secção transv. ideal  $J_y = 5,11E+05$  mm<sup>4</sup>  
 Esbelteza da viga  $\lambda = 92,956$   
 Coeficiente de curvatura  $\kappa = 0,261$

Tensão no aço = 726,01 MPa  
 Resistência de dim. do aço = 595,00 MPa

Fator de segurança = 0,82 < 1,00  
**Secção acoplada da microestaca NÃO É SATISFATÓRIA**

**Verificação Não. 1**

**Verificação da raiz**

Método de cálculo- Teoria de Lizzi.  
 Coef. de influência do diâmetro do bulbo = 0,96  
 Atrito superficial médio limitel  $q_{sav} = 200,00$  kPa

**Verif. da microestaca compressada**

Resistência lateral  $R_s = 940,97$  kN  
 Força normal máxima  $N_{max} = 233,00$  kN

Fator de segurança = 4,04 > 2,00  
**Cap. de carga à compressão da microestaca É SATISFATÓRIA**

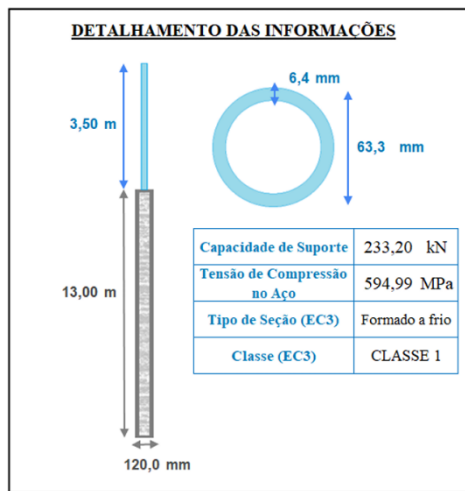
Apenas para fins não comerciais

[1] [1]

[GEOS - Microestaca (licença educacional) | versão 5.2020.59.0 | chave do hardware 10296 / 1 | Instituto Politécnico de Bragança | Copyright © 2022 Fine spol. s r.o. All Rights Reserved | www.finesoftware.com.br]

Figura 72 - Relatório de resultados do Geo5.

Para sintetizar melhor a validação a Figura 73 mostra os resultados da microestaca pré-dimensionada e a comparação direta com o *software* Geo5 (2020).



CAPACIDADE GEOTÉCNICA				
Símbolo	Parâmetro	Ferramentas		Geo5
		Bustamante e Doix (1985)	Lizzi (1982)	Lizzi (1982)
R	Resistência da raiz (kN)	1197,16	934,31	940,47
N <sub>Ed</sub>	Carga normal máxima (kN)	233,19	233,19	233,19
FS	Fator de segurança	5,134	4,007	4,033

CAPACIDADE ESTRUTURAL			
Símbolo	Parâmetro	Ferramentas	Geo5
		geométrico de Euler (1936)	geométrico de Euler (1936)
N <sub>cr</sub>	Carga crítica de encurvadura (kN)	338,47	338,47
N <sub>o,Rd</sub>	Resistência de cálculo a encurvadura (kN)	233,20	-
N <sub>ed</sub>	Carga normal máxima (kN)	233,19	233,19
FS	Fator de segurança	1,000	1,451
σ <sub>sd</sub>	Tensão no aço (MPa)	594,99	726,01
f <sub>yd</sub>	Tensão de cálculo de cedência do aço (MPa)	595,00	595,00
FS	Fator de segurança	1,000	0,820

Figura 73 - Síntese dos resultados da validação das ferramentas.

## **7. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O desenvolvimento desta dissertação permitiu uma análise crítica e integrada dos métodos de dimensionamento estrutural e geotécnico aplicáveis ao reforço de fundações com microestacas. A abordagem adotada considerou a variação de parâmetros geométricos essenciais como diâmetro de perfuração, espessura da armadura e comprimento livre, bem como a degradação do aço da armadura tubular ao longo do tempo devido à corrosão em um solo contaminado/industrial. A proposta de avaliar, de forma comparativa, diferentes metodologias consolidadas na literatura técnica e normativa, contribuiu para identificar padrões de resposta e divergências entre cada critério, tanto sob a ótica da estabilidade estrutural quanto da capacidade de suporte do solo. Diante do exposto, essa seção destinada as considerações finais, comporta também uma interpretação geral de todos os resultados registrados na seção 6. As fórmulas dos métodos podem ser consultadas no APÊNDICE A.8 – RESUMO DOS MÉTODOS DE CÁLCULO, com as variáveis específicas de cada fórmula destacadas.

Os resultados da seção 6.1 foram referentes a uma análise paramétrica da capacidade estrutural da microestaca com a 1ª Ferramenta de cálculo. Todos os métodos apresentados, envolvem a flambagem da armadura tubular e dependem do momento de inércia do tubo do aço e do módulo de elasticidade. A principal diferença entre eles está na forma de considerar o comprimento efetivo e o nível de restrição do encabeçamento da microestaca. Os métodos de Jimenez Salas (1980) e Pierre Souche (1984) utilizam fatores modificadores. O método geométrico de Euler não utiliza fatores, mas considera a interação aço + calda (seção mista), sendo o mais completo nesse sentido. Isso favorece as divergências entre os métodos. Sendo essa afirmação que comprova a maior sensibilidade do método de Salas (1980) em todos os estudos paramétricos. As metodologias possuem uma característica em comum, como pôde ser percebido, elas possuem uma base da carga crítica de Euler, entretanto foram adaptadas pelos autores para considerar a influência do solo na capacidade estrutural.

A capacidade geotécnica permitiu várias considerações. Os métodos semiempíricos (estacas convencionais) são mais sensíveis a variação do diâmetro de perfuração, enquanto os métodos baseados nos conceitos básicos de mecânica dos solos são impactados pelo incremento do comprimento da raiz. Já a pressão de injeção, interfere mais no método para ancoragens de Littlejohn e Bruce (1977). Cada método tem sua particularidade e diferença que pode provocar algumas diferenças na resistência total. No entanto, ajustes interpretativos por profissionais experientes podem aproximar os resultados. As metodologias destinadas para estacas raiz e escavadas (métodos semiempíricos) estão próximas de Bustamante e Doix (1985) e Littlejohn

e Bruce (1977) com um ajuste manual, sendo assim evidenciando uma convergência. O método empírico – Ministério de Fomento (2005) está em conformidade com o método de Lizzi (1982), sendo o mais próximo. Os métodos que mais se distanciam são aqueles que utilizam conceitos básicos da mecânica dos solos – Zweck (1953), Bowles (1996) e método teórico do Ministério de Fomento (2005) – a ausência de coesão impacta claramente nos resultados, refletindo o pior cenário drenado. Esse é o fator determinante da divergência com os demais métodos. Em seu livro, Bowles (1996) ao demonstrar a fórmula utiliza um exemplo de solo extremamente coesivo, o que promove uma elevada resistência lateral da ancoragem.

Por fim, a segunda ferramenta de cálculo surgiu como um sistema para validá-la em comparação com um método do Geo5. Conforme discutido na seção 6.3.3, o método de Lizzi (1982) do Geo5 foi escolhido. Houve boa convergência entre os métodos que determinam a resistência total da raiz, a pequena diferença é devido alguns fatores exclusivos de cada método, visto que na 2ª Ferramenta foi utilizado o método de Bustamante e Doix (1985). Além disso, por meio da Figura 71, foi possível comparar a acurácia do método de Lizzi (1982) entre o software e a 1ª Ferramenta. A outra pequena diferença surge porque o Geo5 utiliza os valores de minoração do diâmetro diretamente da tabela de Lizzi (1982), enquanto a ferramenta utiliza uma equação automática baseada na tabela. Comparando a capacidade estrutural, a carga crítica de encurvadura da 2ª Ferramenta foi exatamente o mesmo valor computado pela 1ª Ferramenta e pelo Geo5. A grande divergência surge ao determinar a tensão de compressão no aço, conforme foi abordado na seção 3.2.1.2, o Geo5 usa uma abordagem adaptada do Eucocódigo 3. O método de cálculo da 1ª e 2ª Ferramenta segue estritamente o que está na norma. De modo geral a 2ª Ferramenta permite uma análise preliminar e inicial para o usuário, ao fornecer valores mínimos das dimensões dentro do limite da segurança de acordo com o Eurocódigo 3.

Conclui-se, portanto, que o uso de microestacas em reforço de fundações exige uma abordagem multidisciplinar que integre variáveis estruturais e geotécnicas. A análise paramétrica conduzida permitiu identificar os limites de aplicabilidade de cada método, contribuindo para a escolha criteriosa de modelos de cálculo em projetos de reabilitação e reforço, especialmente em ambientes urbanos ou industriais.

## 7.1. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Destaca-se como sugestões para trabalhos futuros:

1. Fundamentação e complementação do referencial teórico e as ferramentas de cálculos com métodos disponibilizados por normas de outros países;
2. Abordar alternativas de determinar a carga crítica de encurvadura além dos métodos estudados na dissertação, como Mandel (1936), Koronev (1960), Hetényi (1966) e Davinsson e Robinson (1965) que também utiliza como modelo de Winkler para determinar a reação horizontal do solo;
3. Inserção do nível freático na modelagem da capacidade de carga, considerando os efeitos da subpressão e da redução da resistência efetiva em solos saturados;
4. Consideração de esforços horizontais e momentos fletores nos modelos estruturais, possibilitando a análise de microestacas submetidas a solicitações complexas, como em contenções ou fundações de equipamentos industriais;
5. Consideração da análise de efeitos de grupo de microestacas, a fim de avaliar a interação entre elementos próximos, incluindo redução da eficiência e sobreposição de bulbos de tensão;
6. Consideração do dimensionamento com base normativa da conexão da microestaca com o bloco de coroamento, considerar diferentes ângulos de construção e adotar outros perfis metálicos como alternativa para a armadura tubular;
7. Incorporação de dados provenientes de outros ensaios geotécnicos, como CPTu, pressiômetro, dilatômetro ou Vane Test, ampliando a base de entrada de dados e a confiabilidade dos resultados;
8. Enfatizar uma seção destinada a estudos aplicados a maciços rochosos, com ajustes nos critérios de resistência e mecanismos de transferência de carga, especialmente em fundações com terminações em rocha ou perfurações profundas;
9. Implementação de simulações numéricas (MEF – Método de Elementos Finitos), como forma de comparar e validar os resultados obtidos nas ferramentas com modelagens tridimensionais não lineares que serão desenvolvidas;
10. Exploração de abordagens probabilísticas no dimensionamento, como análise de sensibilidade e métodos de confiabilidade estrutural, considerando a variabilidade dos parâmetros geotécnicos e estruturais;
11. Expansão da integração com softwares comerciais, visando maior compatibilidade com plataformas e outros programas reconhecidos na prática de fundações especiais.

## **REFERÊNCIAS**

### **NORMAS**

American Petroleum Institute (API). API 5CT: Specification for casing and tubing. Washington, D.C.: API, 2021.

American Society for Testing and Materials (ASTM). ASTM A615/A615M-22: Standard specification for deformed and plain carbon-steel bars for concrete reinforcement. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2022.

Asociación Española de Normalización (UNE). UNE EN ISO 17892-7:2019: Geotécnica – Ensaiois laboratoriais de solo – Parte 7: Determinação do índice de densidade relativa de solos granulares não coesivos. Madrid: UNE, 2019.

Asociación Española de Normalización (UNE). UNE EN ISO 22476-3:2006: Reconocimiento y ensayos geotécnicos – Ensayos de campo – Parte 3: Ensayo de penetración estándar. Madrid: UNE, 2006.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 6122:2022: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2022.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 6118:2014: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 6484:2020: Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2020.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 7007:2016: Aço-carbono para uso estrutural — Especificação. Rio de Janeiro, 2016.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 7480:2020: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado — Especificação. Rio de Janeiro, 2020.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 7681-4:2013: Tubos de aço carbono com costura para usos comuns — Parte 4: Tubos para construção civil. Rio de Janeiro, 2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 8261:2019: Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto — Determinação da aderência. Rio de Janeiro, 2019.

Česká Agentura pro Standardizaci (ČAS). ČSN 73 1004: Navrhování základových konstrukcí – Stanovení požadavků pro výpočetní metody. Praga: ČAS, 2020.

Deutsches Institut für Normung (DIN). DIN 4128: Verpresspfähle – Entwurf, Berechnung, Ausführung und Prüfung. Berlin: DIN, 1983.

Instituto Português da Qualidade (IPQ). NP EN 10080:2005: Aço para armaduras de betão - Aço em barras, bobinas e redes soldadas para armaduras passivas - Requisitos gerais. Lisboa: IPQ, 2005.

Instituto Português da Qualidade (IPQ). NP EN 10210-1:2019: Perfis ocós estruturais de aço conformados a quente - Condições técnicas de fornecimento - Parte 1: Requisitos gerais. Lisboa: IPQ, 2019.

Instituto Português da Qualidade (IPQ). NP EN 10219-1:2019: Perfis ocós estruturais de aço conformados a frio - Condições técnicas de fornecimento - Parte 1: Requisitos gerais. Lisboa: IPQ, 2019.

Instituto Português da Qualidade (IPQ). NP EN 12699:2015: Execução de trabalhos geotécnicos especiais – Estacas cravadas sem deslocamento do terreno. Lisboa: IPQ, 2015.

Instituto Português da Qualidade (IPQ). NP EN 14199:2019: Execução de trabalhos geotécnicos especiais — Micropilares. Lisboa: IPQ, 2019.

Instituto Português da Qualidade (IPQ). NP EN 1536:2015: Execução de trabalhos geotécnicos especiais – Estacas moldadas in situ. Lisboa: IPQ, 2015.

Instituto Português da Qualidade (IPQ). NP EN 1992-1-1:2010: Eurocódigo 2 - Projeto de estruturas de betão - Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios. Lisboa: IPQ, 2010.

Instituto Português da Qualidade (IPQ). NP EN 1993-1-1:2005: Eurocódigo 3 - Projeto de estruturas de aço - Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios. Lisboa: IPQ, 2005.

Instituto Português da Qualidade (IPQ). NP EN 1997-1:2010: Eurocódigo 7 - Projeto geotécnico - Parte 1: Regras gerais. Lisboa: IPQ, 2010.

## LIVROS, TESES E ARTIGOS

- Afonso, A. F.; Paula, A. M.; Braz César, M. *Correlações entre resultados de ensaios de penetração dinâmica (DP) com o ensaio Standard Penetration Test (SPT)*. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança, 2016.
- Alonso, U. R. Estacas raiz e escavadas com injeção ou microestacas. In: Hachich, W. et al. (org.). *Fundações: teoria e prática*. 3. ed. São Paulo: Editora Pini, 2016. p. 362–370.
- Antunes, Telmo Ricardo Sousa. *Reabilitação de fundações de edifícios antigos com microestacas*. 2012. Dissertação (Mestrado em Construção e Reabilitação) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2012.
- Aoki, N.; Velloso, D. A. *An approximate method to estimate the bearing capacity of piles*. In: PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATIONS ENGINEERING, 5., 1975.
- Armour, T.; Groneck, P.; Keeley, J.; Sharma, S. *Micropile design and construction guidelines – implementation manual*. Federal Highway Administration (FHWA), Report No. FHWA-SA-97-070, June 2000. 376 p.
- Armour, T.; Groneck, C.; Keeley, J.; Sharma, S. *Micropile design and construction guidelines – implementation manual*. Washington, D.C.: Federal Highway Administration, 2005. (FHWA-NHI-05-039).
- Barbosa, Yuri. *Microestaca injetada instrumentada: avaliação do comportamento sob prova de carga estática e ensaio de carregamento dinâmico*. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Estruturas e Geotécnica) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019.
- Bastos, P. Sergio. *Blocos de fundação*. Bauru, SP: [s.n.], out. 2023. 73 p.
- Berberian, J. *Engenharia de fundações*. 3. Ed. Brasília: infrasolo/fundex, 2017.
- Boussinesq, J. *Application des potentiels à l'étude de l'équilibre et du mouvement des solides élastiques*. Paris: Gauthier-Villars, 1885. In: youssef, Emile. *Étude théorique et expérimentale du flambement des pieux*. 1994. Thèse (Doctorat en Géotechnique) – Tese de Doutorado – École

Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1994. Reepublicado em: 2010. Disponível em: <https://pastel.hal.science/tel-00523301v1>.

Bowles, Joseph E. *Foundation analysis and design*. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 1996.

Brasfond Fundações Especiais S.A. *Catálogo*. São Paulo, 1991. 38p.

Brasfond Fundações Especiais S.A. *Catálogo*. São Paulo, 2001. 54p.

Brito, J. *Tipologia de estacas*. Sessão do Curso Fundec – Execução de Estacas, Lisboa, 2000.

Bruce, D. A. *Anchors, micropiles, rock grouting and deep mixing: a decade of progress in the United States*. Proceedings of GeoSupport 2004 Conference, Orlando, 2004. p. 1–42.

Bruce, Donald A.; Juran, I.; Hanna, S.; Bruce, M. E. C. *Micropiles in the United States: introduction and overview*. *Micropiles: the international state of practice*, v. 1, p. 1–21, 1995.

Budhu, Muni. *Fundações e estruturas de contenção*. Tradução e revisão técnica de Luiz Antonio Vieira Carneiro e Maria Esther Soares Marques. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. 528 p. Tradução de: *Foundations and earth retaining structures*. ISBN 978-85-216-2286-4.

Bustamante, M.; Doix, B. *Une méthode pour le calcul des tirants et des micropieux injectés*. Bull Liaison Lab Pontos Chauss, n.140, 1985.

Cabral, D. A. *O uso de estacas raiz como fundação de obras normais*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIAS DE FUNDAÇÕES, 8., 1986, Porto Alegre/RS. Anais... Porto Alegre, 1986. V.6, p.71-82.

California Department of Transportation (Caltrans). *Geotechnical manual – micropiles*. Sacramento: Caltrans, Division of Engineering Services, Office of Geotechnical Services, fev. 2021. Disponível em: <https://dot.ca.gov/-/media/dot-media/programs/engineering/documents/geotechnical-services/202102-gm-micropiles-all.pdf>.

Cintra, José Carlos A.; Aoki, Nelson. *Fundações por estacas: projeto geotécnico*. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

Comercial de SONDEOS, S.L. *Catálogo comercial*. Valdilecha (Madrid): CS, out. 2021.

Cyna, Henri (pres.); Schlosser, François (dir. cient.); Frank, Roger (dir. téc.); Plumelle, Christian; Estephan, Roger; et al. *Projet national sur les micropieux – FOREVER: synthèse des résultats et recommandations*. Paris: Presses de l'École nationale des ponts et chaussées, 2005. ISBN 2-85978-384-9.

Das, Braja M. *Principles of foundation engineering*. 6. ed. Boston: Cengage Learning, 2016.

Davisson, M. T.; Robinson, K. E. Bending and buckling of partially embedded piles. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 6., 1965, Montreal. *Proceedings...* v. 2, p. 243–246.

Décourt, L. Análise e projeto de fundações profundas: estacas. In: HACHICH et al. (eds.). *Fundações: teoria e prática*. São Paulo: Pini, 1996. p. 265–301.

Décourt, L.; Albieiro, J. H.; Cintra, J. C. A. Análise e projeto de fundações profundas. In: Hachichi, W. et al. *Fundações: teoria e prática*. 3ª ed. São Paulo: Editora Pini, 2016, p.263-296.

Décourt, L.; Quaresma, A. R. Capacidade de carga de estacas a partir de valores SPT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 6., 1978, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: [s.n.], 1978. v. 1, p. 45–54. In: Cintra, José Carlos A.; Aoki, Nelson. *Fundações por estacas: projeto geotécnico*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

Espanha. Dirección General de Carreteras. *Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera*. Madrid: Ministerio de Fomento, 2005.

Falconi, F. et al. *Fundações: teoria e prática*. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. ISBN 978-85-7975-330-5.

Fantine, J. C.; Aoki, N.; Cintra, J. C. A. *Fundações: ensaios estáticos e dinâmicos*. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

Filonenko-Borodich, M. M. Some approximate theories of the elastic foundation. *Uch. Zap. Mosk. Gos. Univ. Mekh.*, n. 46, p. 3–18, 1940.

Fleming, W. G. K.; Weltman, A. J.; Randolph, M. F.; Elson, W. K. *Piling engineering*. 2. ed. Glasgow: Surrey University Press, 1985. 380 p. In: Armour, T.; Groneck, P.; Keeley, J.; Sharma,

S. *Micropile design and construction guidelines – implementation manual*. Federal Highway Administration (FHWA), Report No. FHWA-SA-97-070, June 2000. 376 p.

Francisco, R. *Caracterização técnica e económica de diferentes tipos de fundações profundas*. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007.

Galin, L. A. *Contact problems in the theory of elasticity*. Raleigh: North Carolina State College, School of Physical Sciences and Applied Mathematics, 1961.

Godoy, L. G. *Fundações*. Notas de aula, Curso de Graduação, Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 1972.

Gonçalves, J. *Influência da esbelteza no comportamento de microestacas*. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, maio 2010.

Gorbunov-Pasadov, M. I. *Beams and slabs on elastic foundations*. Moscow: Mashstroizdat, 1949.

Gorbunov-Pasadov, M. I. *Slabs on elastic foundations*. Moscow: Gosstroizdat, 1941.

Harr, M. E. *Foundations of theoretical soil mechanics*. New York: McGraw-Hill, 1966.

Hatanaka, M.; Uchida, A. Empirical correlation between penetration resistance and internal friction angle of sandy soils. *Soils and Foundations*, Tokyo, v. 36, n. 4, p. 1–9, 1996.

Hetenyi, M. Beams and plates on elastic foundation and related problems. *Applied Mechanics Reviews*, n. 19, p. 95–102, 1966.

Imai, T.; Tonouchi, K. Correlation of N value with S-wave velocity and shear modulus. In: *European Symposium on Penetration Testing*, 2., 1982, Amsterdam. Proceedings... Amsterdam, 1982.

Jiménez Salas, José Antônio; et al. *Geotecnia y cimientos III: cimentaciones, excavaciones y aplicaciones de la geotecnia*. Primera parte. Madrid: Rueda, 1980. ISBN 84-7207-017-4.

Khidri, Mujtaba; Liu, Chao; Deng, Lijun. Numerical analysis of screw micropiles under lateral loads via BNWF method. *Geotechnical and Geological Engineering*, v. 43, p. 81–104, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10706-024-03051-5>.

Koronev, B. G. *Structures resting on an elastic foundation*. Oxford: Pergamon Press, 1960. p. 160–190.

JAMP. *Design and execution manual for seismic retrofitting of existing pile foundations with high capacity micropiles*. Foundation Engineering Research Team, Structures Research Group, Public Works Research Institute, Japan, 2002.

Jarushi, Fauzi H. J.; Hamuda, Salah S.; Aldawi, Mohamed. *Correlation between the Standard Penetration Test and the Dynamic Cone Penetration Test for sandy soil*. In: GeoVirtual 2020 – Canadian Geotechnical Conference, 14–16 set. 2020, online. Proceedings... [S.l.]: Canadian Geotechnical Society, 2020.

Lehtonen, J. *Load transfer system analysis in underpinning*. In: Sixth International Workshop on Micropiles, Tokyo, Japan, 2004.

Lima, Lucas Caliari de. *Análise de provas de carga realizadas em micro-estacas utilizadas no reforço das fundações de uma ponte histórica do Recife-PE*. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Geotecnia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

Littlejohn, G. S.; Bruce, D. A. Rock anchors – state of the art. Part 1. Design. *Ground Engineering*, London, v. 8, n. 4, 1975.

Lizzi, Fernando. The pali radice (root piles). In: SYMPOSIUM ON SOIL AND ROCK IMPROVEMENT TECHNIQUES INCLUDING GEOTEXTILES, REINFORCED EARTH AND MODERN PILING METHODS, 1982, Bangkok. *Proceedings*. Bangkok: [s.n.], 1982. p. D-3.

Lur'e, A. I. *Three dimensional problems of the theory of elasticity*. New York: Interscience, 1964.

Magalhães, Diogo João Quintas da Silva. *Sistemas construtivos de reabilitação e reforço de fundações*. 2014. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil – Especialização em Geotecnia) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2014.

Mandel, M. Flambage au sein d'un milieu élastique. *Annales des Ponts et Chaussées*, n. 20, p. 295–335, 1936.

Marques, David Paulo Caneira. *Ligação microestaca / estrutura – estudo do comportamento da interface calda / betão existente*. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Construções Civas) – Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Leiria, Leiria, 2016.

Meyerhof, G. G. Penetration test and bearing capacity of cohesionless soils. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, v. 82, n. 1, p. 1–19, 1956. In: ABUSERIYA, Abdelrahman S.; OSMAN, Bashir H. Correlation of cohesion and friction angle based on SPT-N values: a comprehensive review. *Civil Engineering Beyond Limits*, v. 2, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.36937/cebel.2023.1821>.

Muromachi, T.; Kobayashi, S. Comparative study of static and dynamic penetration tests currently in use in Japan. In: European Symposium on Penetration Testing, 2., 1982, Amsterdam. *Proceedings...* Rotterdam: Balkema, 1982. In: Jarushi, Fauzi H. J.; Hamuda, Salah S.; Aldawi, Mohamed. *Correlation between the Standard Penetration Test and the Dynamic Cone Penetration Test for sandy soil*. In: GeoVirtual 2020 – Canadian Geotechnical Conference, 14–16 set. 2020, online. *Proceedings...* [S.l.]: Canadian Geotechnical Society, 2020.

Neves, Manuel João Niza das. *Técnicas de recalçamento e reforço de fundações: metodologias, dimensionamento e verificações de segurança*. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

Ohsaki, Y.; Iwasaki, R. *On dynamic shear moduli and Poisson's ratios of soil deposits*. *Soils and Foundations*, v. 13, n. 4, p. 61–73, 1973.

Parry, R. H. G. Estimating bearing capacity in sand from SPT values. *Journal of Geotechnical Engineering Division*, v. 103, n. 9, p. 1014–1019, 1977.

PASTERNAK, P. L. *On a new method of analysis of an elastic foundation by means of two foundation constants*. Moscow: Gosudarstvennoe Izdatelstro Liberaturi po Stroitelstvu i Arkhitekture, 1954.

Pearlman, S. L.; Wolosick, J. R. Pin piles for bridge foundations. In: *ANNUAL INTERNATIONAL BRIDGE CONFERENCE*, 9., 1992, Pittsburgh. *Proceedings...* Pittsburgh, PA: [s.n.], 1992. In: Armour, T.; Groneck, C.; Keeley, J.; Sharma, S. *Micropile design and construction guidelines – implementation manual*. Washington, D.C.: Federal Highway Administration, 2005. (FHWA-NHI-05-039).

Peck, Ralph B.; Hanson, Walter E.; Thornburn, Thomas H. *Foundation engineering*. 2. ed. New York: Wiley, 1974.

Peck, Ralph B.; Hanson, Walter E.; Thornburn, Thomas H. *Foundation engineering*. New York: John Wiley & Sons, 1953. In: ÇEKİNMEZ, Zeynep. Chapter 1: *Soil characterization*. Ankara: Middle East Technical University, Department of Civil Engineering, 2015. Material didático da disciplina CE 468 – Geotechnical Design. Disponível em: <https://akademik.adu.edu.tr/fakulte/muhendislik/personel/uploads/ssaglam/chapter1-soilcharacterization-23022015-1667203952.pdf>

Pereira, Armando Belato; Porto, Thiago Bomjardim; Gomes, Romero César; Santos, Raphael Lúcio Reis dos; Rabelo, João Marcos Guimarães. Análise de desempenho de métodos semiempíricos de previsão de capacidade de carga geotécnica aplicados a estacas pré-moldadas de concreto assentes em argila arenosa. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 5948–5976, fev. 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n2-049>.

Popov, G. Ya. Plates on a linearly elastic foundation (a survey). *Soviet Applied Mechanics*, v. 8, n. 3, p. 3–17, 1971.

Reissner, E. Deflection of plates on viscoelastic foundation. *Journal of Applied Mechanics* (Trans. ASME), n. 80, p. 144–145, 1958.

Seed, H. Bolton; Idriss, I. M. *Soil moduli and damping factors for dynamic response analyses*. Berkeley: University of California, Earthquake Engineering Research Center, 1970. (Report EERC 70-10).

Selvadurai, A. P. S. *Elastic analysis of soil–foundation interaction*. Developments in Geotechnical Engineering, v. 17. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 1979.

Souche, Pierre. Étude du flambement de pieux partiellement immergés dans un milieu offrant latéralement une réaction élastique pure. *Annales de l'I.T.B.T.P.*, n. 423, p. 38–60, 1984.

Shi, Hai; Bai, Mingzhou; Li, Chao; Zhang, Yunlong; Tian, Gang. Correspondence analysis of soil around micropile composite structures under horizontal load. *Mathematical Problems in Engineering*, v. 2015, Article ID 382427, 12 p. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2015/382427>.

Stroud, M. The SPT: application and interpretation. In: *PENETRATION TESTING IN THE UK*. Proceedings of the Conference, Birmingham, 1988. London: Thomas Telford, 1988. In: Abuseriya, Abdelrahman S.; Osman, Bashir H. Correlation of cohesion and friction angle based on SPT-N values: a comprehensive review. *Civil Engineering Beyond Limits*, v. 2, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.36937/cebel.2023.1821>.

Teixeira, A. H. Projeto e execução de fundações. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA, 3., 1996, São Paulo. Anais... São Paulo: [s.n.], 1996. v. 1, p. 33–50.

Teixeira, A. H.; Godoy, N. S. *Análise, projeto e execução de fundações rasas*. In: HACHICH et al. (eds.). *Fundações: teoria e prática*. São Paulo: Pini, 1996. p. 227–264.

Teixeira, Ana Cláudia Caldas Leite. *Dimensionamento de microestacas de acordo com os Eurocódigos 7 e 3*. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Geotecnia) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2014.

Terzaghi, Karl; Peck, Ralph B.; Mesri, Gholamreza. *Soil mechanics in engineering practice*. 3. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 1996. 549 p.

Timoshenko, Stephen P.; Gere, James M. *Theory of elastic stability*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1985.

Timoshenko, Stephen P.; Goodier, J. N. *Theory of elasticity* (1938). 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1970.

Vargas, Milton. *Introdução à mecânica dos solos*. Vol. 1. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1977.

Vlazov, V. Z. *General theory of shells and its application in engineering*. Moscow–Leningrad: Gostekhizdat, 1949.

Vlazov, V. Z.; Leontiev, U. N. *Beams, plates and shells on elastic foundations*. Jerusalem: Israel Program for Scientific Translations, 1966.

Winkler, E. *Die Lehre von der Elastizität und Festigkeit*. Prague: Dominicus, 1867. In: Youssef, Emile. *Étude théorique et expérimentale du flambement des pieux*. 1994. Thèse (Doctorat en Géotechnique) – Tese de Doutorado – École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1994. Reepublicado em: 2010. Disponível em: <https://pastel.hal.science/tel-00523301v1>.

Wolff, T. F. Pile capacity prediction using parameter functions. In: AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. *Geotechnical special publication*. n. 23. New York: ASCE, 1989. p. 96–107.

Youssef, Emile. *Étude théorique et expérimentale du flambement des pieux*. 1994. Thèse (Doctorat en Géotechnique) – Tese de Doutorado – École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1994. Reepublicado em: 2010. Disponível em: <https://pastel.hal.science/tel-00523301v1>.

Zweck, Heinz. Mesures sur modèles réduits du frottement latéral et de la résistance de pointe des pieux. *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, v. 6, n. 63–64, p. 367, 1953. In: Zweck, Heinz. *Zur Ermittlung der Tragfähigkeit von Pfählen. III*. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau, v. 4, p. 38–46, 1954.

Zweck, Heinz. *Zur Ermittlung der Tragfähigkeit von Pfählen. I*. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau, v. 2, p. 41–48, 1953. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103234>.

Zweck, Heinz. *Zur Ermittlung der Tragfähigkeit von Pfählen. II*. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau, v. 3, p. 35–43, 1954. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103220>.

Zweck, Heinz. *Zur Ermittlung der Tragfähigkeit von Pfählen. III*. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau, v. 4, p. 38–46, 1954.


## SITES

Ferrolimiana. Produtos em ferro. Disponível em: <https://www.ferrolimiana.pt/produtos-ferro.php>. Acesso em: 10/05/2025.

Fine software. Método geométrico de Euler. Geo5 - Ajuda online. Disponível em: <https://www.finesoftware.com.br/ajuda-online/geo5/pt/metodo-geometrico-euler-01/>. Acesso em: 04/03/2025.

# APÊNDICE A – METODOLOGIA (1ª FERRAMENTA)

## APÊNDICE A.1 – 1º CASO – DIÂMETRO TUBULAR



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

### CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

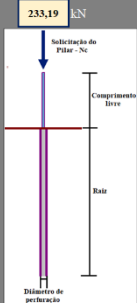

1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA	2. CAPACIDADE ESTRUTURAL	3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA	4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA																																																																																																																																																																																																																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Diâmetro de Perfuração</td><td>0,160</td><td>m</td></tr> <tr><td>Diâmetro efetivo*</td><td>0,154</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento cabeça*</td><td>2,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento livre</td><td>2,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento raiz</td><td>13,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Considerar ZG4 como referência</td><td><b>NÃO</b></td><td></td></tr> <tr><td>Comprimento efetivo*</td><td>8,50</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento TOTAL</td><td>15,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão raiz</td><td>924,06</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão seção interna</td><td>28,01</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> </table> <div style="margin-top: 10px;">  <p>233,19 kN</p> <p>Solicitação do Fator - Nc</p> <p>Comprimento livre</p> <p>Raiz</p> <p>Diâmetro de perfuração</p> </div> <p><b>Diâmetro efetivo</b> Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.</p> <p><b>Comprimento cabeça</b> Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.</p> <p><b>Comprimento efetivo</b> <math>L_{efetivo} = L_{livre} + L_{raiz}</math></p>	Diâmetro de Perfuração	0,160	m	Diâmetro efetivo*	0,154	m	Comprimento cabeça*	2,00	m	Comprimento livre	2,00	m	Comprimento raiz	13,00	m	Considerar ZG4 como referência	<b>NÃO</b>		Comprimento efetivo*	8,50	m	Comprimento TOTAL	15,00	m	Rigidez a flexão raiz	924,06	kNm <sup>2</sup>	Rigidez a flexão seção interna	28,01	kNm <sup>2</sup>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="3">2.1. Informações do Calda de cimento</th> </tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>28</td><td>Gpa</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>3,98E-08</td><td>m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>1,11</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de Concreto seção interna</td><td>0,0007</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>f_{ck}</math> (MPa)</td><td>25</td><td>MPa</td></tr> <tr><td><math>\gamma_c</math></td><td>1,5</td><td></td></tr> <tr><td><math>f_{cd}</math> (MPa)</td><td>16,67</td><td>MPa</td></tr> </table> <div style="margin-top: 10px;">  </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="3">2.2. Informações do aço da Armadura Tubular</th> </tr> <tr><td>Diâmetro exterior</td><td>0,043</td><td>m</td></tr> <tr><td>Espessura</td><td>0,0065</td><td>m</td></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>210</td><td>Gpa</td></tr> <tr><td>Diâmetro interior</td><td>0,0300</td><td>m</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>1,28E-07</td><td>m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>26,89</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de aço</td><td>7,45E-04</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>f_{yk}</math></td><td>595</td><td>MPa</td></tr> <tr><td><math>\gamma_s</math></td><td>1,00</td><td></td></tr> <tr><td><math>f_{sd}</math></td><td>595,00</td><td>MPa</td></tr> </table>	2.1. Informações do Calda de cimento			Módulo de Elasticidade	28	Gpa	Momento de Inércia	3,98E-08	m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	1,11	kNm <sup>2</sup>	Área de Concreto seção interna	0,0007	m <sup>2</sup>	$f_{ck}$ (MPa)	25	MPa	$\gamma_c$	1,5		$f_{cd}$ (MPa)	16,67	MPa	2.2. Informações do aço da Armadura Tubular			Diâmetro exterior	0,043	m	Espessura	0,0065	m	Módulo de Elasticidade	210	Gpa	Diâmetro interior	0,0300	m	Momento de Inércia	1,28E-07	m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	26,89	kNm <sup>2</sup>	Área de aço	7,45E-04	m <sup>2</sup>	$f_{yk}$	595	MPa	$\gamma_s$	1,00		$f_{sd}$	595,00	MPa	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="5">3.1. Informações do Solo</th> </tr> <tr> <th colspan="5">PROFUNDIDADES DE SOLO</th> </tr> <tr> <td>Zona Geotécnica</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td> </tr> <tr> <td>Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)</td><td>5,1</td><td>8,0</td><td>10,4</td><td>15,0</td> </tr> <tr> <td>Altura (m) (CAMADA DO SOLO)</td><td>0</td><td>2,9</td><td>2,4</td><td>4,6</td> </tr> <tr> <th colspan="5">VALORES DOS ENSAIOS</th> </tr> <tr> <td>N<sub>60</sub> (ac/s)</td><td>0</td><td>22</td><td>37</td><td>55</td> </tr> <tr> <td>N<sub>arr</sub></td><td>0</td><td>21</td><td>35</td><td>52</td> </tr> <tr> <th colspan="5">TIPOS DE SOLO</th> </tr> <tr> <td></td><td>Libre</td><td colspan="3">Comprimento livre da microestaca</td> </tr> <tr><td>ZG4</td><td></td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td>ZG3</td><td></td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td>ZG2</td><td></td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td>ZG1</td><td></td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr> <td>Classificação global do solo LIZZI</td><td colspan="4">Solos rígidos, cascalhos e areias</td> </tr> <tr> <th colspan="5">PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA</th> </tr> <tr> <td><math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</td><td>0</td><td>19</td><td>20</td><td>20</td> </tr> <tr> <td><math>c'</math> (kPa)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td> </tr> <tr> <td><math>\phi'</math> (°)</td><td>27,10</td><td>33,15</td><td>37,00</td><td>41,33</td> </tr> <tr> <th colspan="5">OUTROS PARÂMETROS</th> </tr> <tr> <td>OCR</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td> </tr> <tr> <td>E (MPa)</td><td>0</td><td>92,49</td><td>140,20</td><td>192,52</td> </tr> <tr> <td><math>\mu_{int}</math> (MPa)</td><td>0</td><td>1,05</td><td>1,76</td><td>2,62</td> </tr> <tr> <td><math>E_{s0}</math> (MPa)</td><td>0</td><td>8,70</td><td>15,49</td><td>23,63</td> </tr> <tr> <td><math>\alpha_s</math></td><td>#####</td><td>0,33</td><td>0,33</td><td>0,33</td> </tr> </table>	3.1. Informações do Solo					PROFUNDIDADES DE SOLO					Zona Geotécnica	4	3	2	1	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	15,0	Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0	2,9	2,4	4,6	VALORES DOS ENSAIOS					N <sub>60</sub> (ac/s)	0	22	37	55	N <sub>arr</sub>	0	21	35	52	TIPOS DE SOLO						Libre	Comprimento livre da microestaca			ZG4		Areia			ZG3		Areia			ZG2		Areia			ZG1		Areia			Classificação global do solo LIZZI	Solos rígidos, cascalhos e areias				PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA					$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20	$c'$ (kPa)	0	0	0	0	$\phi'$ (°)	27,10	33,15	37,00	41,33	OUTROS PARÂMETROS					OCR	1	1	1	1	E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52	$\mu_{int}$ (MPa)	0	1,05	1,76	2,62	$E_{s0}$ (MPa)	0	8,70	15,49	23,63	$\alpha_s$	#####	0,33	0,33	0,33	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>FATOR DE SEGURANÇA</th> <th>ESTADO LIMITE</th> </tr> <tr> <td>FS carga crítica</td><td>1,00</td> </tr> <tr> <td>FS tensão no aço</td><td>1,00</td> </tr> <tr> <td>FS seção da raiz</td><td>2,00</td> </tr> <tr> <td><math>\gamma_{af}</math> - carga</td><td>1,00</td> </tr> <tr> <td><math>\gamma_{at}</math> - atrito</td><td>1,25</td> </tr> <tr> <td><math>\gamma_{ac}</math> - coesão</td><td>1,25</td> </tr> <tr> <td><math>\gamma_{rt}</math> - raiz total</td><td>1,50</td> </tr> <tr> <td><math>\gamma_{rp}</math> - raiz ponta</td><td>1,60</td> </tr> <tr> <td><math>\gamma_{rl}</math> - raiz lateral</td><td>1,30</td> </tr> <tr> <td><math>\gamma_{sa}</math> - aço</td><td>1,00</td> </tr> <tr> <td><math>\gamma_{sc}</math> - calda</td><td>1,50</td> </tr> </table>	FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE	FS carga crítica	1,00	FS tensão no aço	1,00	FS seção da raiz	2,00	$\gamma_{af}$ - carga	1,00	$\gamma_{at}$ - atrito	1,25	$\gamma_{ac}$ - coesão	1,25	$\gamma_{rt}$ - raiz total	1,50	$\gamma_{rp}$ - raiz ponta	1,60	$\gamma_{rl}$ - raiz lateral	1,30	$\gamma_{sa}$ - aço	1,00	$\gamma_{sc}$ - calda	1,50
Diâmetro de Perfuração	0,160	m																																																																																																																																																																																																																																													
Diâmetro efetivo*	0,154	m																																																																																																																																																																																																																																													
Comprimento cabeça*	2,00	m																																																																																																																																																																																																																																													
Comprimento livre	2,00	m																																																																																																																																																																																																																																													
Comprimento raiz	13,00	m																																																																																																																																																																																																																																													
Considerar ZG4 como referência	<b>NÃO</b>																																																																																																																																																																																																																																														
Comprimento efetivo*	8,50	m																																																																																																																																																																																																																																													
Comprimento TOTAL	15,00	m																																																																																																																																																																																																																																													
Rigidez a flexão raiz	924,06	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																													
Rigidez a flexão seção interna	28,01	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																													
2.1. Informações do Calda de cimento																																																																																																																																																																																																																																															
Módulo de Elasticidade	28	Gpa																																																																																																																																																																																																																																													
Momento de Inércia	3,98E-08	m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																													
Rigidez a flexão	1,11	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																													
Área de Concreto seção interna	0,0007	m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																													
$f_{ck}$ (MPa)	25	MPa																																																																																																																																																																																																																																													
$\gamma_c$	1,5																																																																																																																																																																																																																																														
$f_{cd}$ (MPa)	16,67	MPa																																																																																																																																																																																																																																													
2.2. Informações do aço da Armadura Tubular																																																																																																																																																																																																																																															
Diâmetro exterior	0,043	m																																																																																																																																																																																																																																													
Espessura	0,0065	m																																																																																																																																																																																																																																													
Módulo de Elasticidade	210	Gpa																																																																																																																																																																																																																																													
Diâmetro interior	0,0300	m																																																																																																																																																																																																																																													
Momento de Inércia	1,28E-07	m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																													
Rigidez a flexão	26,89	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																													
Área de aço	7,45E-04	m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																													
$f_{yk}$	595	MPa																																																																																																																																																																																																																																													
$\gamma_s$	1,00																																																																																																																																																																																																																																														
$f_{sd}$	595,00	MPa																																																																																																																																																																																																																																													
3.1. Informações do Solo																																																																																																																																																																																																																																															
PROFUNDIDADES DE SOLO																																																																																																																																																																																																																																															
Zona Geotécnica	4	3	2	1																																																																																																																																																																																																																																											
Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	15,0																																																																																																																																																																																																																																											
Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0	2,9	2,4	4,6																																																																																																																																																																																																																																											
VALORES DOS ENSAIOS																																																																																																																																																																																																																																															
N <sub>60</sub> (ac/s)	0	22	37	55																																																																																																																																																																																																																																											
N <sub>arr</sub>	0	21	35	52																																																																																																																																																																																																																																											
TIPOS DE SOLO																																																																																																																																																																																																																																															
	Libre	Comprimento livre da microestaca																																																																																																																																																																																																																																													
ZG4		Areia																																																																																																																																																																																																																																													
ZG3		Areia																																																																																																																																																																																																																																													
ZG2		Areia																																																																																																																																																																																																																																													
ZG1		Areia																																																																																																																																																																																																																																													
Classificação global do solo LIZZI	Solos rígidos, cascalhos e areias																																																																																																																																																																																																																																														
PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA																																																																																																																																																																																																																																															
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20																																																																																																																																																																																																																																											
$c'$ (kPa)	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																											
$\phi'$ (°)	27,10	33,15	37,00	41,33																																																																																																																																																																																																																																											
OUTROS PARÂMETROS																																																																																																																																																																																																																																															
OCR	1	1	1	1																																																																																																																																																																																																																																											
E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52																																																																																																																																																																																																																																											
$\mu_{int}$ (MPa)	0	1,05	1,76	2,62																																																																																																																																																																																																																																											
$E_{s0}$ (MPa)	0	8,70	15,49	23,63																																																																																																																																																																																																																																											
$\alpha_s$	#####	0,33	0,33	0,33																																																																																																																																																																																																																																											
FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE																																																																																																																																																																																																																																														
FS carga crítica	1,00																																																																																																																																																																																																																																														
FS tensão no aço	1,00																																																																																																																																																																																																																																														
FS seção da raiz	2,00																																																																																																																																																																																																																																														
$\gamma_{af}$ - carga	1,00																																																																																																																																																																																																																																														
$\gamma_{at}$ - atrito	1,25																																																																																																																																																																																																																																														
$\gamma_{ac}$ - coesão	1,25																																																																																																																																																																																																																																														
$\gamma_{rt}$ - raiz total	1,50																																																																																																																																																																																																																																														
$\gamma_{rp}$ - raiz ponta	1,60																																																																																																																																																																																																																																														
$\gamma_{rl}$ - raiz lateral	1,30																																																																																																																																																																																																																																														
$\gamma_{sa}$ - aço	1,00																																																																																																																																																																																																																																														
$\gamma_{sc}$ - calda	1,50																																																																																																																																																																																																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="3">2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO</th> </tr> <tr> <th colspan="3">Euler e Pierre Souche</th> </tr> <tr> <td>Rigidez da mola Winkler</td><td>6</td><td>MN/m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <th colspan="3">Pierre Souche</th> </tr> <tr> <td>m</td><td>8,403</td><td></td> </tr> <tr> <td>w</td><td>0,133</td><td></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> <b>ÁBACOS DE SOUCHE</b> </div> </td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td style="text-align: center;">48</td> </tr> </table>		2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO			Euler e Pierre Souche			Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>	Pierre Souche			m	8,403		w	0,133		<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> <b>ÁBACOS DE SOUCHE</b> </div>					48	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2">3.2. Defina a injeção da calda e outros parâmetros</th> </tr> <tr> <td>TIPO</td><td>IGU</td> </tr> <tr> <td>Pressão da injeção</td><td>0,50 MPa</td> </tr> <tr> <td>Condição estrutural</td><td>Nova estrutura</td> </tr> <tr> <td>Fator de influência (solo-estrutura) que minora o <math>\phi</math></td><td>1</td> </tr> </table>		3.2. Defina a injeção da calda e outros parâmetros		TIPO	IGU	Pressão da injeção	0,50 MPa	Condição estrutural	Nova estrutura	Fator de influência (solo-estrutura) que minora o $\phi$	1																																																																																																																																																																																																										
2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO																																																																																																																																																																																																																																															
Euler e Pierre Souche																																																																																																																																																																																																																																															
Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>																																																																																																																																																																																																																																													
Pierre Souche																																																																																																																																																																																																																																															
m	8,403																																																																																																																																																																																																																																														
w	0,133																																																																																																																																																																																																																																														
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> <b>ÁBACOS DE SOUCHE</b> </div>																																																																																																																																																																																																																																															
		48																																																																																																																																																																																																																																													
3.2. Defina a injeção da calda e outros parâmetros																																																																																																																																																																																																																																															
TIPO	IGU																																																																																																																																																																																																																																														
Pressão da injeção	0,50 MPa																																																																																																																																																																																																																																														
Condição estrutural	Nova estrutura																																																																																																																																																																																																																																														
Fator de influência (solo-estrutura) que minora o $\phi$	1																																																																																																																																																																																																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2">2.4. Definir CORROSÃO</th> </tr> <tr> <td>CORROSÃO</td><td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Tempo de vida útil</td><td>50 anos</td> </tr> <tr> <td><math>F_{ca}</math></td><td>0,5</td> </tr> <tr> <td>Perda de espessura do tubo corrosão</td><td>0,0003 m</td> </tr> </table>		2.4. Definir CORROSÃO		CORROSÃO	<input type="checkbox"/>	Tempo de vida útil	50 anos	$F_{ca}$	0,5	Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003 m																																																																																																																																																																																																																																				
2.4. Definir CORROSÃO																																																																																																																																																																																																																																															
CORROSÃO	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																														
Tempo de vida útil	50 anos																																																																																																																																																																																																																																														
$F_{ca}$	0,5																																																																																																																																																																																																																																														
Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003 m																																																																																																																																																																																																																																														

Figura 74 - Informações paramétricas - 1º Caso - Diâmetro tubular = 43 mm.

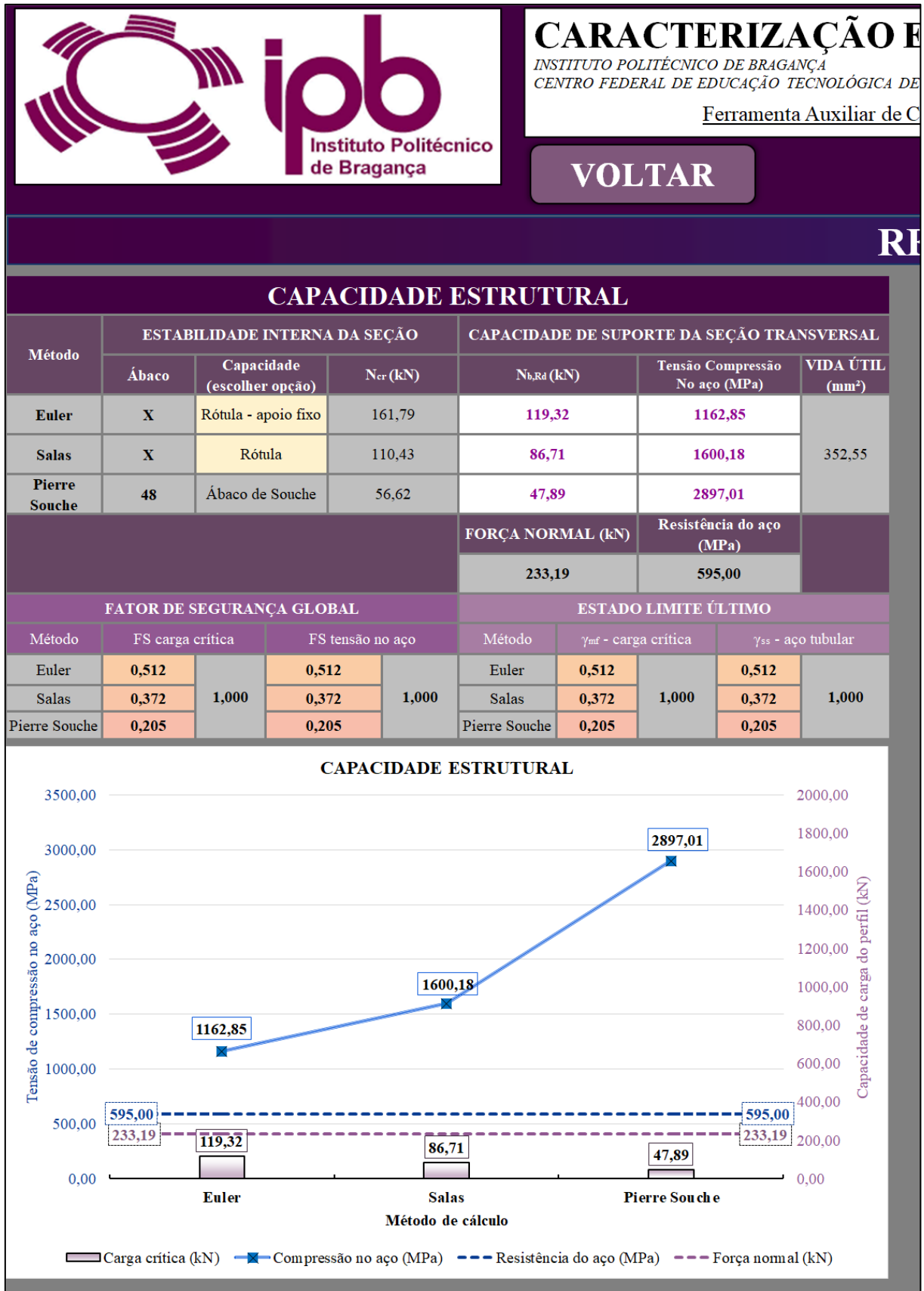



Figura 75 - Resultados - 1º Caso - Diâmetro tubular = 43 mm.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

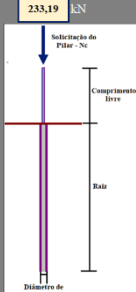
1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA	
Diâmetro de Perforação	0,160 m	2.1. Informações do <b>Calda de cimento</b>		3.1. Informações do <b>Solo</b>		FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE
Diâmetro efetivo*	0,154 m	Módulo de Elasticidade	28 GPa	3.1.1. <b>PROFUNDIDADES DE SOLO</b>		FS carga crítica	1,00
Comprimento cabeça*	2,00 m	Momento de Inércia	7,37E-08 m <sup>4</sup>	Zona Geotécnica	4 3 2 1	FS tensão no aço	1,00
Comprimento raiz	2,00 m	Rigidez a flexão	2,06 kNm <sup>2</sup>	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1 8,0 10,4 15,0	FS secção da raiz	2,00
Comprimento livre	13,00 m	Área de Concreto secção interna	0,0010 m <sup>2</sup>	Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0 2,9 2,4 4,6		
Considerar ZG4 como referência	NÃO	f <sub>ck</sub> (MPa)	25 MPa	3.1.2. <b>VALORES DOS ENSAIOS</b>			
Comprimento efetivo*	8,50 m	γ <sub>c</sub>	1,5	N <sub>PM</sub> (sólos)	0 22 37 55		
Comprimento TOTAL	15,00 m	f <sub>td</sub> (MPa)	16,67 MPa	N <sub>SP7</sub>	0 21 35 52		
Rigidez a flexão raiz	934,78 kNm <sup>2</sup>	2.2. Informações do <b>aço da Armadura Tubular</b>		3.1.3. <b>TIPOS DE SOLO</b>			
Rigidez a flexão secção interna	41,31 kNm <sup>2</sup>	Diâmetro exterior	0,048 m	3.1.4. <b>TIPOS DE SOLO</b>			
Diâmetro efetivo: Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração. Comprimento cabeça: Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre. Comprimento efetivo: l <sub>efetivo</sub> = l <sub>livre</sub> + l <sub>cabeça</sub>		Espessura	0,0065 m	3.1.5. <b>TIPOS DE SOLO</b>			
		Módulo de Elasticidade	210 GPa	3.1.6. <b>TIPOS DE SOLO</b>			
		Diâmetro interior	0,0350 m	3.1.7. <b>TIPOS DE SOLO</b>			
		Momento de Inércia	1,87E-07 m <sup>4</sup>	3.1.8. <b>TIPOS DE SOLO</b>			
		Rigidez a flexão	39,25 kNm <sup>2</sup>	3.1.9. <b>TIPOS DE SOLO</b>			
		Área de aço	8,47E-04 m <sup>2</sup>	3.1.10. <b>TIPOS DE SOLO</b>			
		f <sub>ck</sub>	595 MPa	3.1.11. <b>TIPOS DE SOLO</b>			
		γ <sub>s</sub>	1,00	3.1.12. <b>TIPOS DE SOLO</b>			
		f <sub>td</sub>	595,00 MPa	3.1.13. <b>TIPOS DE SOLO</b>			
		2.3. Parâmetros individuais de cada <b>MÉTODO</b>		3.2. Defina a <b>Injeção da calda</b> e outros parâmetros			
		Euler e Pierre Souche		TIPO		IGU	
		Rigidez da mola Winkler	6 MN/m <sup>3</sup>	Pressão da injeção		0,50 MPa	
		Pierre Souche		Condição estrutural		Nova estrutura	
		m	7,858	Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ		1	
		w	0,133	3.2. Defina a <b>Injeção da calda</b> e outros parâmetros			
		2.4. Definir <b>CORROSÃO</b>		TIPO		IGU	
		CORROSÃO	<input type="checkbox"/>	Pressão da injeção		0,50 MPa	
		Tempo de vida útil	50 anos	Condição estrutural		Nova estrutura	
		F <sub>u,t</sub>	0,5	Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ		1	
		Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003 m	3.2. Defina a <b>Injeção da calda</b> e outros parâmetros			

Figura 76 - Informações paramétricas - 1º Caso - Diâmetro tubular = 48 mm.

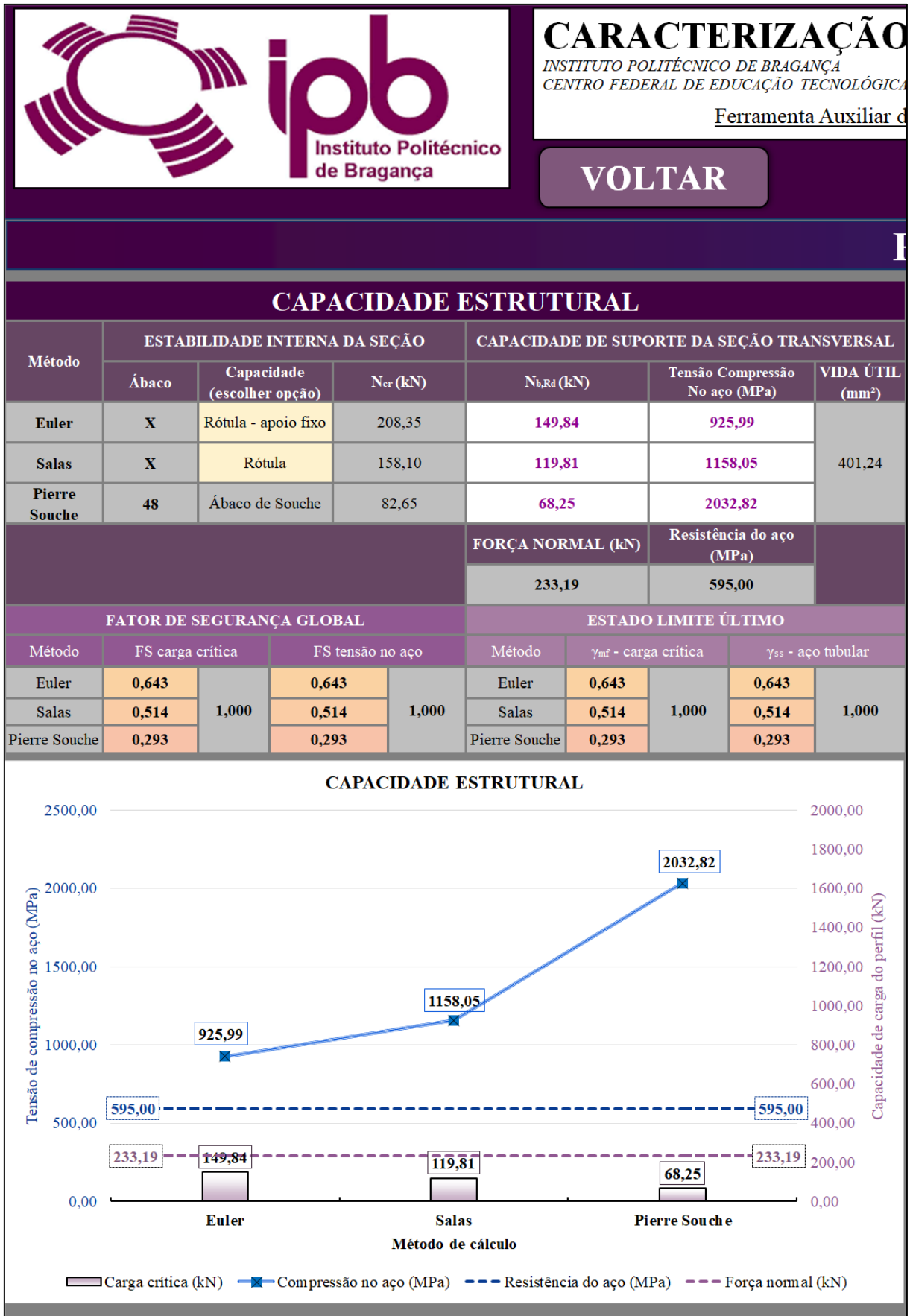



Figura 77 - Resultados - 1º Caso - Diâmetro tubular = 48 mm.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA	
Diâmetro de Perfuração	0,160 m	<b>2.1. Informações do Calda de cimento</b>		<b>3.1. Informações do Solo</b>		FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE
Diâmetro efetivo*	0,154 m	Módulo de Elasticidade	28 GPa	<b>PROFUNDIDADES DE SOLO</b>		FS carga crítica	1,00
Comprimento cabeça*	2,00 m	Momento de Inércia	2,46E-07 m <sup>4</sup>	Zona Geotécnica	4 3 2 1	FS tensão no aço	1,00
Comprimento livre	2,00 m	Rigidez a flexão	6,88 kNm <sup>2</sup>	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1 8,0 10,4 15,0	FS seção de tração	2,00
Comprimento total	13,00 m	Área de Concreto seção interna	0,0018 m <sup>2</sup>	Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)	0 2,9 2,4 4,6		
Considerar ZG4 como referência	NÃO	f <sub>cd</sub> (MPa)	25 MPa	<b>VALORES DOS ENSAIOS</b>			
Comprimento efetivo*	8,50 m	γ <sub>c</sub>	1,5	NFDM médio	0 22 37 55		
Comprimento TOTAL	15,00 m	f <sub>td</sub> (MPa)	16,67 MPa	N <sub>NET</sub>	0 21 35 52		
Rigidez a flexão raiz	974,16 kNm <sup>2</sup>	<b>2.2. Informações do aço da Armadura Tubular</b>		<b>TIPOS DE SOLO</b>			
Rigidez a flexão seção interna	91,57 kNm <sup>2</sup>	Diâmetro exterior	0,0603 m	Libre	Comprimento livre da microestaca		
Diâmetro efetivo	Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.	Espessura	0,0065 m	ZG4	Areia		
Comprimento cabeça	Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.	Módulo de Elasticidade	210 GPa	ZG3	Areia		
Comprimento efetivo	L <sub>efetivo</sub> = L <sub>livre</sub> + L <sub>cabeça</sub>	Diâmetro interior	0,0473 m	ZG2	Areia		
		Momento de Inércia	4,03E-07 m <sup>4</sup>	ZG1	Areia		
		Rigidez a flexão	84,69 kNm <sup>2</sup>	<b>PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA</b>			
		Área de aço	1,10E-03 m <sup>2</sup>	Classificação global do solo LIZZI	Solos rígidos, cascalhos e areias		
		E <sub>s</sub>	595 MPa	γ (kN/m <sup>3</sup> )	0 19 20 20		
		γ <sub>s</sub>	1,00	c' (kPa)	0 0 0 0		
		E <sub>st</sub>	595,00 MPa	φ' (°)	27,10 33,15 37,00 41,33		
		<b>2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO</b>		<b>OUTROS PARÂMETROS</b>			
		Euler e Pierre Souche		OCR	1 1 1 1		
		Rigidez da mola Winkler	6 MN/m <sup>3</sup>	E (MPa)	0 92,49 140,20 192,52		
		Pierre Souche		ρ <sub>lim</sub> (MPa)	0 1,05 1,76 2,62		
		m	6,864	E <sub>st</sub> (MPa)	0 8,70 15,49 23,63		
		w	0,133	α <sub>c</sub>	##### 0,33 0,33 0,33		
		<b>2.4. Definir CORROSÃO</b>		<b>3.2. Definir a injeção da calda e outros parâmetros</b>			
		CORROSÃO	<input type="checkbox"/>	TIPO	IGU		
		Tempo de vida útil	50 anos	Pressão da injeção	0,50 MPa		
		F <sub>u,t</sub>	0,5	Condição estrutural	Nova estrutura		
		Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003 m	Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ	1		

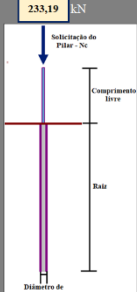


Figura 78 - Informações paramétricas - 1º Caso - Diâmetro tubular = 60,3 mm.



**ipb**  
Instituto Politécnico  
de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA

Ferramenta Auxiliar d

VOLTAR

CAPACIDADE ESTRUTURAL								
Método	ESTABILIDADE INTERNA DA SEÇÃO			CAPACIDADE DE SUPORTE DA SEÇÃO TRANSVERSAL				
	Ábaco	Capacidade (escolher opção)	$N_{cr}$ (kN)	$N_{b,Rd}$ (kN)	Tensão Compressão No aço (MPa)	VIDA ÚTIL (mm <sup>2</sup> )		
Euler	X	Rótula - apoio fixo	350,51	236,80	585,94	521,03		
Salas	X	Rótula	326,22	224,55	617,90			
Pierre Souche	45	Ábaco de Souche	167,17	130,76	1061,07			
				FORÇA NORMAL (kN)	Resistência do aço (MPa)			
				233,19	595,00			
FATOR DE SEGURANÇA GLOBAL				ESTADO LIMITE ÚLTIMO				
Método	FS carga crítica		FS tensão no aço		Método	$\gamma_{mf}$ - carga crítica	$\gamma_{ss}$ - aço tubular	
Euler	1,015	1,000	1,015	1,000	Euler	1,015	1,015	
Salas	0,963		0,963		0,963	1,000	0,963	1,000
Pierre Souche	0,561		0,561		0,561	Pierre Souche	0,561	0,561

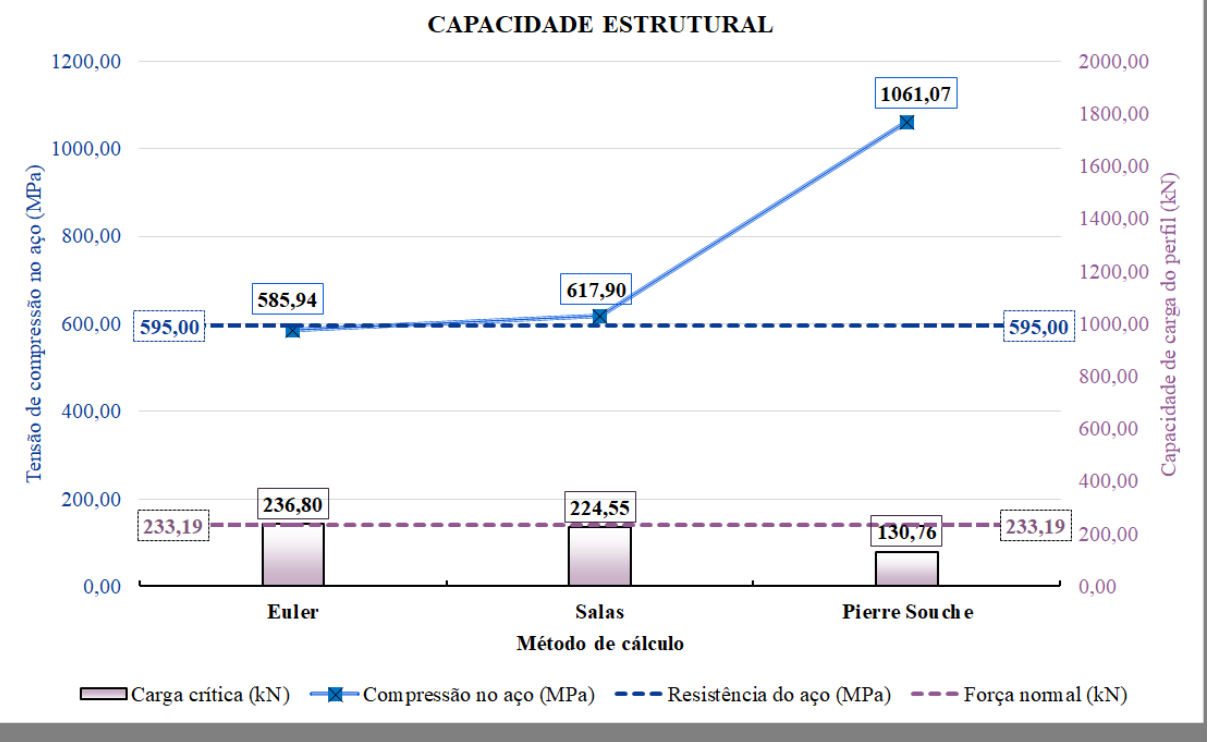



Figura 79 - Resultados - 1º Caso - Diâmetro tubular = 60,3 mm.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

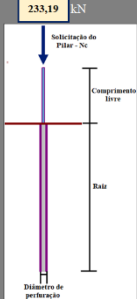
1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA																																																																																	
<p><b>Diâmetro de Perfuração</b></p> <p>0,160 m</p> <p><b>Diâmetro efetivo*</b></p> <p>0,154 m</p> <p><b>Comprimento cabeça*</b></p> <p>2,00 m</p> <p><b>Comprimento livre</b></p> <p>2,00 m</p> <p><b>Comprimento raiz</b></p> <p>13,00 m</p> <p><b>Considerar ZG4 como referência</b></p> <p>NÃO</p> <p><b>Comprimento efetivo*</b></p> <p>8,50 m</p> <p><b>Comprimento TOTAL</b></p> <p>15,00 m</p> <p><b>Rigidez a flexão raiz</b></p> <p>1038,68 kNm<sup>2</sup></p> <p><b>Rigidez a flexão seção interna</b></p> <p>176,96 kNm<sup>2</sup></p> <p><b>Diâmetro efetivo</b> Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.</p> <p><b>Comprimento cabeça</b> Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.</p> <p><b>Comprimento efetivo</b> L<sub>efetivo</sub> = L<sub>livre</sub> + L<sub>cabeça</sub></p>		<p><b>2.1. Informações do Calda de cimento</b></p> <p><b>Módulo de Elasticidade</b></p> <p>28 GPa</p> <p><b>Momento de Inércia</b></p> <p>6,36E-07 m<sup>4</sup></p> <p><b>Rigidez a flexão</b></p> <p>17,81 kNm<sup>2</sup></p> <p><b>Área de Concreto seção interna</b></p> <p>0,0028 m<sup>2</sup></p> <p><b>f<sub>ck</sub> (MPa)</b></p> <p>25</p> <p><b>γ<sub>c</sub></b></p> <p>1,5</p> <p><b>f<sub>cd</sub> (MPa)</b></p> <p>16,67</p> <p><b>2.2. Informações do aço da Armadura Tubular</b></p> <p><b>Diâmetro exterior</b></p> <p>0,073 m</p> <p><b>Espessura</b></p> <p>0,0065 m</p> <p><b>Módulo de Elasticidade</b></p> <p>210 GPa</p> <p><b>Diâmetro interior</b></p> <p>0,0600 m</p> <p><b>Momento de Inércia</b></p> <p>7,58E-07 m<sup>4</sup></p> <p><b>Rigidez a flexão</b></p> <p>159,14 kNm<sup>2</sup></p> <p><b>Área de aço</b></p> <p>1,36E-03 m<sup>2</sup></p> <p><b>E<sub>s</sub></b></p> <p>595 MPa</p> <p><b>γ<sub>s</sub></b></p> <p>1,00</p> <p><b>E<sub>sd</sub></b></p> <p>595,00 MPa</p> <p><b>2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO</b></p> <p><b>Euler e Pierre Souche</b></p> <p><b>Rigidez da mola Winkler</b></p> <p>6 MN/m<sup>3</sup></p> <p><b>Pierre Souche</b></p> <p>m: 6,150</p> <p>w: 0,133</p> <p><b>ABACOS DE SOUCHE</b></p> <p>43</p> <p><b>2.4. Definir CORROSÃO</b></p> <p><b>CORROSÃO</b></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><b>Tempo de vida útil</b></p> <p>50 anos</p> <p><b>F<sub>u,t</sub></b></p> <p>0,5</p> <p><b>Perda de espessura do tubo corrosão</b></p> <p>0,0003 m</p>	<p><b>3.1. Informações do Solo</b></p> <p><b>PROFUNDIDADES DE SOLO</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Zona Geotécnica</td> <td>4</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)</td> <td>5,1</td> <td>8,0</td> <td>10,4</td> <td>15,0</td> </tr> <tr> <td>Altura (m) (CAMADA DO SOLO)</td> <td>0</td> <td>2,9</td> <td>2,4</td> <td>4,6</td> </tr> </table> <p><b>VALORES DOS ENSAIOS</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>NFDM médio</td> <td>0</td> <td>22</td> <td>37</td> <td>55</td> </tr> <tr> <td>N<sub>NET</sub></td> <td>0</td> <td>21</td> <td>35</td> <td>52</td> </tr> </table> <p><b>TIPOS DE SOLO</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Libre</td> <td>Comprimento livre da microestaca</td> </tr> <tr> <td>ZG4</td> <td>Areia</td> </tr> <tr> <td>ZG3</td> <td>Areia</td> </tr> <tr> <td>ZG2</td> <td>Areia</td> </tr> <tr> <td>ZG1</td> <td>Areia</td> </tr> </table> <p>Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias</p> <p><b>PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>γ (kN/m<sup>3</sup>)</td> <td>0</td> <td>19</td> <td>20</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>c' (kPa)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>φ' (°)</td> <td>27,10</td> <td>33,15</td> <td>37,00</td> <td>41,33</td> </tr> </table> <p><b>OUTROS PARÂMETROS</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>OCR</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>E (MPa)</td> <td>0</td> <td>92,49</td> <td>140,20</td> <td>192,52</td> </tr> <tr> <td>ρ<sub>lim</sub> (MPa)</td> <td>0</td> <td>1,05</td> <td>1,76</td> <td>2,62</td> </tr> <tr> <td>E<sub>u</sub> (MPa)</td> <td>0</td> <td>8,70</td> <td>15,49</td> <td>23,63</td> </tr> <tr> <td>α<sub>c</sub></td> <td>#####</td> <td>0,33</td> <td>0,33</td> <td>0,33</td> </tr> </table> <p><b>3.2. Definir a injeção da calda e outros parâmetros</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>TIPO</td> <td>IGU</td> </tr> <tr> <td>Pressão da injeção</td> <td>0,50 MPa</td> </tr> <tr> <td>Condição estrutural</td> <td>Nova estrutura</td> </tr> <tr> <td>Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ</td> <td>1</td> </tr> </table>	Zona Geotécnica	4	3	2	1	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	15,0	Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0	2,9	2,4	4,6	NFDM médio	0	22	37	55	N <sub>NET</sub>	0	21	35	52	Libre	Comprimento livre da microestaca	ZG4	Areia	ZG3	Areia	ZG2	Areia	ZG1	Areia	γ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20	c' (kPa)	0	0	0	0	φ' (°)	27,10	33,15	37,00	41,33	OCR	1	1	1	1	E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52	ρ <sub>lim</sub> (MPa)	0	1,05	1,76	2,62	E <sub>u</sub> (MPa)	0	8,70	15,49	23,63	α <sub>c</sub>	#####	0,33	0,33	0,33	TIPO	IGU	Pressão da injeção	0,50 MPa	Condição estrutural	Nova estrutura	Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ	1	<p><b>FATOR DE SEGURANÇA</b></p> <p>FS carga crítica: 1,00</p> <p>FS tensão no aço: 1,00</p> <p>FS seção da raiz: 2,00</p> <p><b>ESTADO LIMITE</b></p> <p>γ<sub>sl</sub> - carga: 1,00</p> <p>γ<sub>sl</sub> - atrito: 1,25</p> <p>γ<sub>sl</sub> - coesão: 1,25</p> <p>γ<sub>sl</sub> - raiz total: 1,50</p> <p>γ<sub>sl</sub> - raiz ponta: 1,60</p> <p>γ<sub>sl</sub> - raiz lateral: 1,30</p> <p>γ<sub>sl</sub> - aço: 1,00</p> <p>γ<sub>sl</sub> - calda: 1,50</p>
Zona Geotécnica	4	3	2	1																																																																																			
Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	15,0																																																																																			
Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0	2,9	2,4	4,6																																																																																			
NFDM médio	0	22	37	55																																																																																			
N <sub>NET</sub>	0	21	35	52																																																																																			
Libre	Comprimento livre da microestaca																																																																																						
ZG4	Areia																																																																																						
ZG3	Areia																																																																																						
ZG2	Areia																																																																																						
ZG1	Areia																																																																																						
γ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20																																																																																			
c' (kPa)	0	0	0	0																																																																																			
φ' (°)	27,10	33,15	37,00	41,33																																																																																			
OCR	1	1	1	1																																																																																			
E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52																																																																																			
ρ <sub>lim</sub> (MPa)	0	1,05	1,76	2,62																																																																																			
E <sub>u</sub> (MPa)	0	8,70	15,49	23,63																																																																																			
α <sub>c</sub>	#####	0,33	0,33	0,33																																																																																			
TIPO	IGU																																																																																						
Pressão da injeção	0,50 MPa																																																																																						
Condição estrutural	Nova estrutura																																																																																						
Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ	1																																																																																						

Figura 80 - Informações paramétricas - 1º Caso - Diâmetro tubular = 73,0 mm.

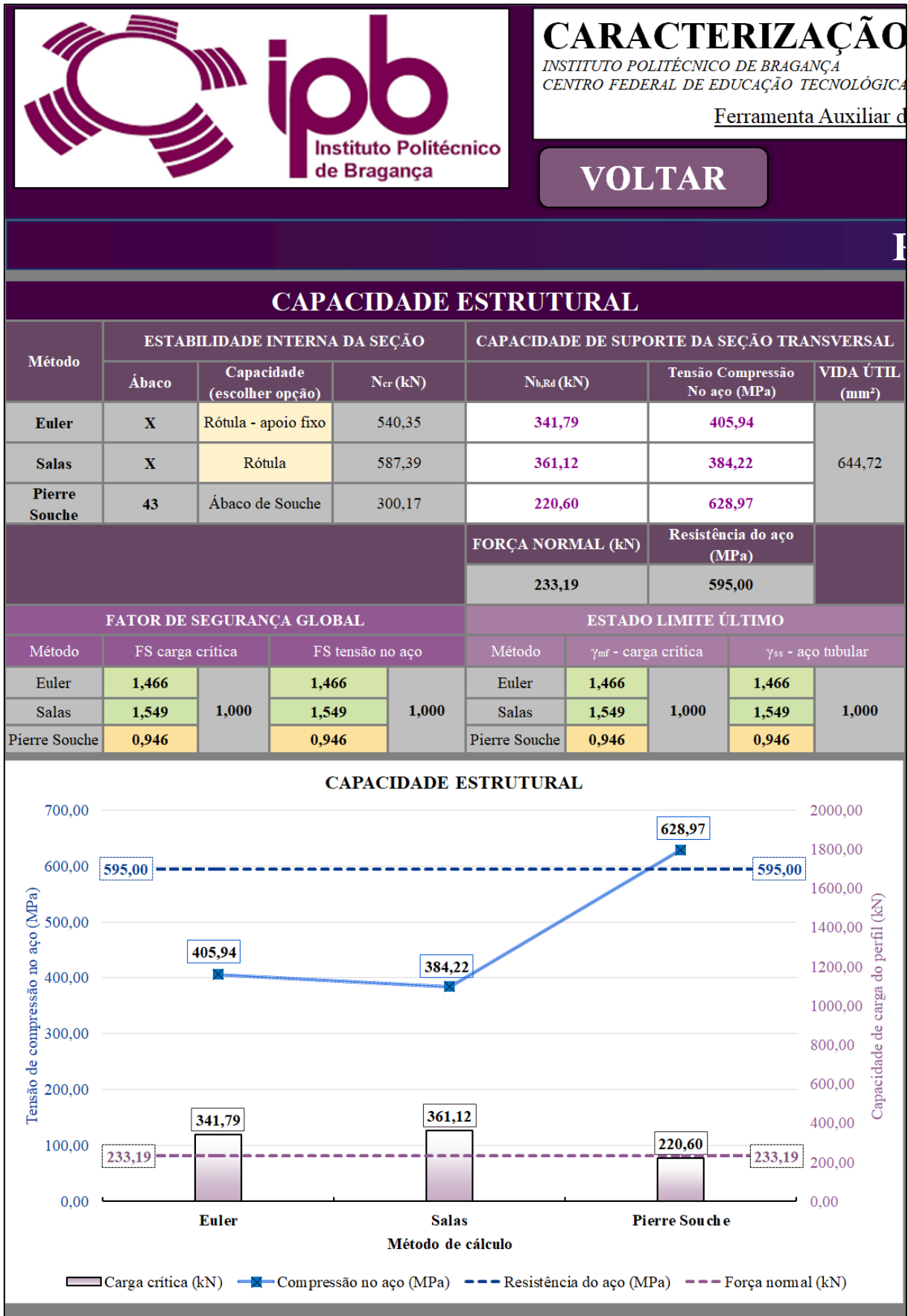



Figura 81 - Resultados - 1º Caso - Diâmetro tubular = 73,0 mm.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA	
Diâmetro de Perfuração	0,160 m	<b>2.1. Informações do Calda de cimento</b>		<b>3.1. Informações do Solo</b>		<b>FATOR DE SEGURANÇA</b>	
Diâmetro efetivo*	0,154 m	Módulo de Elasticidade	28 Gpa	<b>PROFUNDIDADES DE SOLO</b>		FS carga crítica	1,00
Comprimento cabeça*	2,00 m	Momento de Inércia	1,63E-06 m <sup>4</sup>	Zona Geotécnica	4 3 2 1	FS tensão no aço	1,00
Comprimento livre	2,00 m	Rigidez a flexão	45,61 kNm <sup>2</sup>	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1 8,0 10,4 15,0	FS seção da raiz	2,00
Comprimento total	13,00 m	Área de Concreto seção interna	0,0045 m <sup>2</sup>	Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)	0 2,9 2,4 4,6		
Considerar ZG4 como referência	NÃO	f <sub>cd</sub> (MPa)	25 MPa	<b>VALORES DOS ENSAIOS</b>			
Comprimento efetivo*	8,50 m	γ <sub>c</sub>	1,5	NFDM médio	0 22 37 55		
Comprimento TOTAL	15,00 m	f <sub>td</sub> (MPa)	16,67 MPa	N <sub>NET</sub>	0 21 35 52		
Rigidez a flexão seção raiz	1162,29 kNm <sup>2</sup>	<b>2.2. Informações do aço da Armadura Tubular</b>		<b>TIPOS DE SOLO</b>			
Rigidez a flexão seção interna	347,38 kNm <sup>2</sup>	Diâmetro exterior	0,0889 m	Libre	Comprimento livre da microestaca		
Diâmetro efetivo	Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.	Espessura	0,0065 m	ZG4	Areia		
Comprimento cabeça	Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.	Módulo de Elasticidade	210 Gpa	ZG3	Areia		
Comprimento efetivo	L <sub>efetivo</sub> = L <sub>livre</sub> + L <sub>cabeça</sub>	Diâmetro interior	0,0759 m	ZG2	Areia		
		Momento de Inércia	1,44E-06 m <sup>4</sup>	ZG1	Areia		
		Rigidez a flexão	301,76 kNm <sup>2</sup>	<b>PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA</b>			
		Área de aço	1,68E-03 m <sup>2</sup>	Classificação global do solo LIZZI	Solos rígidos, cascalhos e areias		
		E <sub>s</sub>	595 MPa	γ (kN/m <sup>3</sup> )	0 19 20 20		
		γ <sub>s</sub>	1,00	c' (kPa)	0 0 0 0		
		E <sub>st</sub>	595,00 MPa	φ' (°)	27,10 33,15 37,00 41,33		
		<b>2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO</b>		<b>OUTROS PARÂMETROS</b>			
		Euler e Pierre Souche		OCR	1 1 1 1		
		Rigidez da mola Winkler	6 MN/m <sup>3</sup>	E (MPa)	0 92,49 140,20 192,52		
		Pierre Souche		ρ <sub>lim</sub> (MPa)	0 1,05 1,76 2,62		
		m	5,505	E <sub>st</sub> (MPa)	0 8,70 15,49 23,63		
		w	0,133	α <sub>c</sub>	##### 0,33 0,33 0,33		
		<b>2.4. Definir CORROSÃO</b>		<b>3.2. Definir a injeção da calda e outros parâmetros</b>			
		CORROSÃO	<input type="checkbox"/>	TIPO	IGU		
		Tempo de vida útil	50 anos	Pressão da injeção	0,50 MPa		
		F <sub>u,t</sub>	0,5	Condição estrutural	Nova estrutura		
		Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003 m	Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ	1		

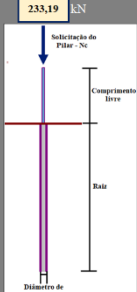


Figura 82 - Informações paramétricas - 1º Caso - Diâmetro tubular = 88,9 mm.

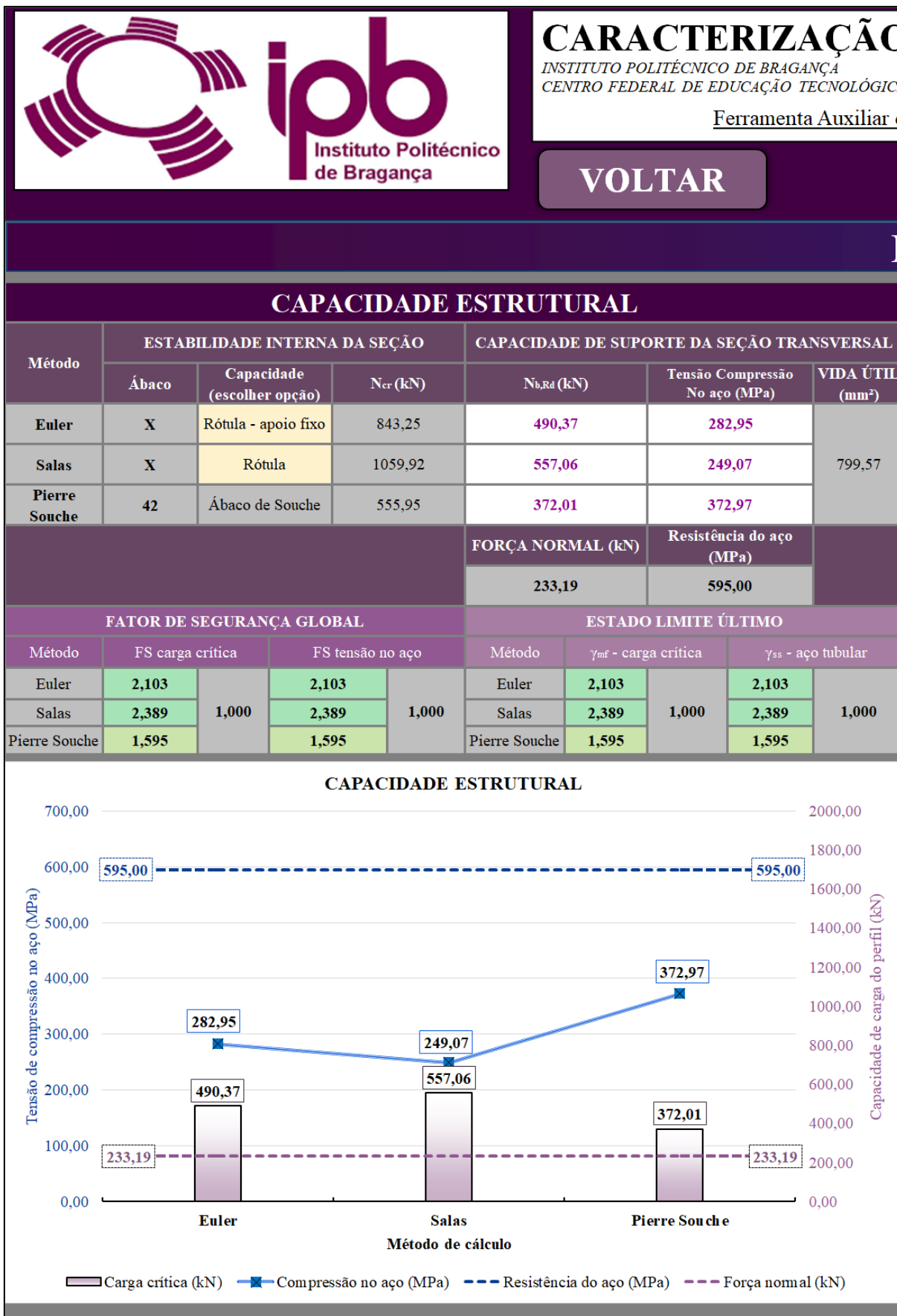



Figura 83 - Resultados - 1º Caso - Diâmetro tubular = 88,9 mm.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA	
Diâmetro de Perfuração	0,160 m	2.1. Informações do <b>Calda de cimento</b>		3.1. Informações do <b>Solo</b>		FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE
Diâmetro efetivo*	0,154 m	Módulo de Elasticidade	28 Gpa	PROFUNDIDADES DE SOLO		FS carga crítica	1,00
Comprimento cabeça*	2,00 m	Momento de Inércia	3,02E-06 m <sup>4</sup>	Zona Geotécnica	4 3 2 1	FS tensão no aço	1,00
Comprimento livre	2,00 m	Rigidez a flexão	84,70 kNm <sup>2</sup>	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1 8,0 10,4 15,0	FS seção de aço	2,00
Comprimento raiz	13,00 m	Área de Concreto seção interna	0,0062 m <sup>2</sup>	Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)	0 2,9 2,4 4,6		
Considerar ZG4 como referência	NÃO	f <sub>cd</sub> (MPa)	25 MPa	VALORES DOS ENSAIOS			
Comprimento efetivo*	8,50 m	γ <sub>c</sub>	1,5	NFDM médio	0 22 37 55		
Comprimento TOTAL	15,00 m	f <sub>td</sub> (MPa)	16,67 MPa	NFT	0 21 35 52		
Rigidez a flexão raiz	1302,19 kNm <sup>2</sup>	2.2. Informações do <b>aço da Armadura Tubular</b>		TIPOS DE SOLO			
Rigidez a flexão seção interna	547,88 kNm <sup>2</sup>	Diâmetro exterior	0,1016 m	Libre	Comprimento livre da microestaca		
Diâmetro efetivo	Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.	Espessura	0,0065 m	ZG4	Areia		
Comprimento cabeça	Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.	Módulo de Elasticidade	210 Gpa	ZG3	Areia		
Comprimento efetivo	L <sub>efetivo</sub> = L <sub>livre</sub> + L <sub>raiz</sub>	Diâmetro interior	0,0886 m	ZG2	Areia		
		Momento de Inércia	2,21E-06 m <sup>4</sup>	ZG1	Areia		
		Rigidez a flexão	463,19 kNm <sup>2</sup>	Classificação global do solo LIZZI		Solos rígidos, cascalhos e areias	
		Área de aço	1,94E-03 m <sup>2</sup>	PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA			
		E <sub>s</sub>	595 MPa	γ (kN/m <sup>3</sup> )	0 19 20 20		
		γ <sub>s</sub>	1,00	c' (kPa)	0 0 0 0		
		E <sub>st</sub>	595,00 MPa	φ' (°)	27,10 33,15 37,00 41,33		
		2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO		OUTROS PARÂMETROS			
		Euler e Pierre Souche		OCR	1 1 1 1		
		Rigidez da mola Winkler	6 MN/m <sup>3</sup>	E (MPa)	0 92,49 140,20 192,52		
		Pierre Souche		p <sub>lim</sub> (MPa)	0 1,05 1,76 2,62		
		m	5,114	E <sub>m</sub> (MPa)	0 8,70 15,49 23,63		
		w	0,133	α <sub>c</sub>	##### 0,33 0,33 0,33		
		2.4. Definir <b>CORROSÃO</b>		3.2. Definir a <b>injeção da calda</b> e outros parâmetros			
		CORROSÃO	<input type="checkbox"/>	TIPO	IGU		
		Tempo de vida útil	50 anos	Pressão da injeção	0,50 MPa		
		F <sub>u,t</sub>	0,5	Condição estrutural	Nova estrutura		
		Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003 m	Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ	1		

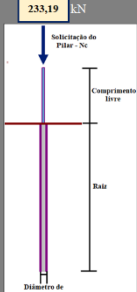


Figura 84 - Informações paramétricas - 1º Caso - Diâmetro tubular = 101,6 mm.

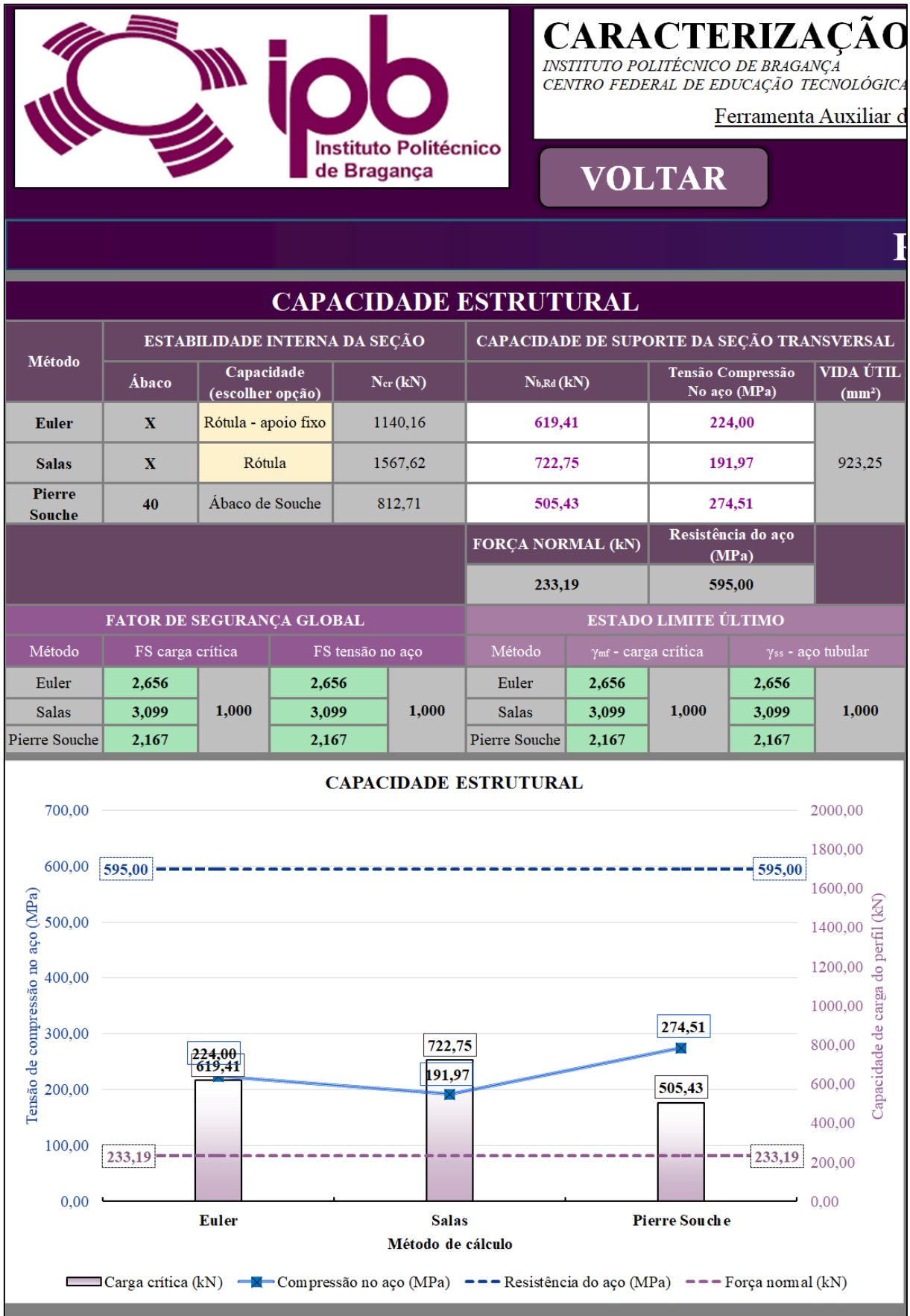



Figura 85 - Resultados - 1º Caso - Diâmetro tubular = 101,6 mm.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

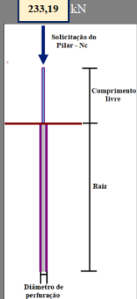


1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA																																																																										
<p><b>Diâmetro de Perfuração</b> 0,160 m</p> <p><b>Diâmetro efetivo*</b> 0,154 m</p> <p><b>Comprimento cabeça*</b> 2,00 m</p> <p><b>Comprimento livre</b> 2,00 m</p> <p><b>Comprimento raiz</b> 13,00 m</p> <p><b>Considerar ZG4 como referência</b> NÃO</p> <p><b>Comprimento efetivo*</b> 8,50 m</p> <p><b>Comprimento TOTAL</b> 15,00 m</p> <p><b>Rigidez a flexão raiz</b> 1715,96 kNm<sup>2</sup></p> <p><b>Rigidez a flexão seção interna</b> 1172,76 kNm<sup>2</sup></p> <p><b>Diâmetro efetivo</b> Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.</p> <p><b>Comprimento cabeça</b> Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.</p> <p><b>Comprimento efetivo</b> L<sub>efetivo</sub> = L<sub>livre</sub> + L<sub>raiz</sub></p>		<p><b>2.1. Informações do Calda de cimento</b></p> <p>Módulo de Elasticidade 28 GPa</p> <p>Momento de Inércia 8,29E-06 m<sup>4</sup></p> <p>Rigidez a flexão 232,14 kNm<sup>2</sup></p> <p>Área de Concreto seção interna 0,0102 m<sup>2</sup></p> <p>f<sub>ck</sub> (MPa) 25</p> <p>γ<sub>c</sub> 1,5</p> <p>f<sub>cd</sub> (MPa) 16,67</p>		<p><b>3.1. Informações do Solo</b></p> <p><b>PROFUNDIDADES DE SOLO</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Zona Geotécnica</th> <th>4</th> <th>3</th> <th>2</th> <th>1</th> </tr> <tr> <td>Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)</td> <td>5,1</td> <td>8,0</td> <td>10,4</td> <td>15,0</td> </tr> <tr> <td>Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)</td> <td>0</td> <td>2,9</td> <td>2,4</td> <td>4,6</td> </tr> </table> <p><b>VALORES DOS ENSAIOS</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>NFDM médio</td> <td>0</td> <td>22</td> <td>37</td> <td>55</td> </tr> <tr> <td>N<sub>NET</sub></td> <td>0</td> <td>21</td> <td>35</td> <td>52</td> </tr> </table> <p><b>TIPOS DE SOLO</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Libre</th> <th>Comprimento livre da microestaca</th> </tr> <tr> <td>ZG4</td> <td>Areia</td> </tr> <tr> <td>ZG3</td> <td>Areia</td> </tr> <tr> <td>ZG2</td> <td>Areia</td> </tr> <tr> <td>ZG1</td> <td>Areia</td> </tr> </table> <p>Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias</p> <p><b>PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>γ (kN/m<sup>3</sup>)</td> <td>0</td> <td>19</td> <td>20</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>c' (kPa)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>φ' (°)</td> <td>27,10</td> <td>33,15</td> <td>37,00</td> <td>41,33</td> </tr> </table> <p><b>OUTROS PARÂMETROS</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>OCR</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>E (MPa)</td> <td>0</td> <td>92,49</td> <td>140,20</td> <td>192,52</td> </tr> <tr> <td>ρ<sub>lim</sub> (MPa)</td> <td>0</td> <td>1,05</td> <td>1,76</td> <td>2,62</td> </tr> <tr> <td>E<sub>m</sub> (MPa)</td> <td>0</td> <td>8,70</td> <td>15,49</td> <td>23,63</td> </tr> <tr> <td>α<sub>s</sub></td> <td>#####</td> <td>0,33</td> <td>0,33</td> <td>0,33</td> </tr> </table>	Zona Geotécnica	4	3	2	1	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	15,0	Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)	0	2,9	2,4	4,6	NFDM médio	0	22	37	55	N <sub>NET</sub>	0	21	35	52	Libre	Comprimento livre da microestaca	ZG4	Areia	ZG3	Areia	ZG2	Areia	ZG1	Areia	γ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20	c' (kPa)	0	0	0	0	φ' (°)	27,10	33,15	37,00	41,33	OCR	1	1	1	1	E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52	ρ <sub>lim</sub> (MPa)	0	1,05	1,76	2,62	E <sub>m</sub> (MPa)	0	8,70	15,49	23,63	α <sub>s</sub>	#####	0,33	0,33	0,33	<p><b>FATOR DE SEGURANÇA</b></p> <p>FS carga crítica 1,00</p> <p>FS tensão no aço 1,00</p> <p>FS seção da raiz 2,00</p> <p><b>ESTADO LIMITE</b></p> <p>γ<sub>sl</sub> - carga 1,00</p> <p>γ<sub>msl</sub> - atrito 1,25</p> <p>γ<sub>msl</sub> - coesão 1,25</p> <p>γ<sub>st</sub> - raiz total 1,50</p> <p>γ<sub>st</sub> - raiz ponta 1,60</p> <p>γ<sub>sl</sub> - raiz lateral 1,30</p> <p>γ<sub>ss</sub> - aço 1,00</p> <p>γ<sub>ss</sub> - calda 1,50</p>
Zona Geotécnica	4	3	2	1																																																																												
Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	15,0																																																																												
Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)	0	2,9	2,4	4,6																																																																												
NFDM médio	0	22	37	55																																																																												
N <sub>NET</sub>	0	21	35	52																																																																												
Libre	Comprimento livre da microestaca																																																																															
ZG4	Areia																																																																															
ZG3	Areia																																																																															
ZG2	Areia																																																																															
ZG1	Areia																																																																															
γ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20																																																																												
c' (kPa)	0	0	0	0																																																																												
φ' (°)	27,10	33,15	37,00	41,33																																																																												
OCR	1	1	1	1																																																																												
E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52																																																																												
ρ <sub>lim</sub> (MPa)	0	1,05	1,76	2,62																																																																												
E <sub>m</sub> (MPa)	0	8,70	15,49	23,63																																																																												
α <sub>s</sub>	#####	0,33	0,33	0,33																																																																												
		<p><b>2.2. Informações do aço da Armadura Tubular</b></p> <p>Diâmetro exterior 0,127 m</p> <p>Espessura 0,0065 m</p> <p>Módulo de Elasticidade 210 GPa</p> <p>Diâmetro interior 0,1140 m</p> <p>Momento de Inércia 4,48E-06 m<sup>4</sup></p> <p>Rigidez a flexão 940,62 kNm<sup>2</sup></p> <p>Área de aço 2,46E-03 m<sup>2</sup></p> <p>E<sub>s</sub> 595 MPa</p> <p>γ<sub>s</sub> 1,00</p> <p>E<sub>sd</sub> 595,00 MPa</p>																																																																														
		<p><b>2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO</b></p> <p><b>Euler e Pierre Souche</b></p> <p>Rigidez da mola Winkler 6 MN/m<sup>3</sup></p> <p><b>Pierre Souche</b></p> <p>m 4,530</p> <p>w 0,133</p> <p style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 2px;">ABACOS DE SOUCHE</p> <p style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 2px;">34</p>			<p><b>3.2. Definir a injeção da calda e outros parâmetros</b></p> <p>TIPO IGU</p> <p>Pressão da injeção 0,50 MPa</p> <p>Condição estrutural Nova estrutura</p> <p>Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ 1</p>																																																																											
		<p><b>2.4. Definir CORROSÃO</b></p> <p>CORROSÃO <input type="checkbox"/></p> <p>Tempo de vida útil 50 anos</p> <p>F<sub>u,t</sub> 0,5</p> <p>Perda de espessura do tubo corrosão 0,0003 m</p>																																																																														

Figura 86 - Informações paramétricas - 1º Caso - Diâmetro tubular = 127,0 mm.

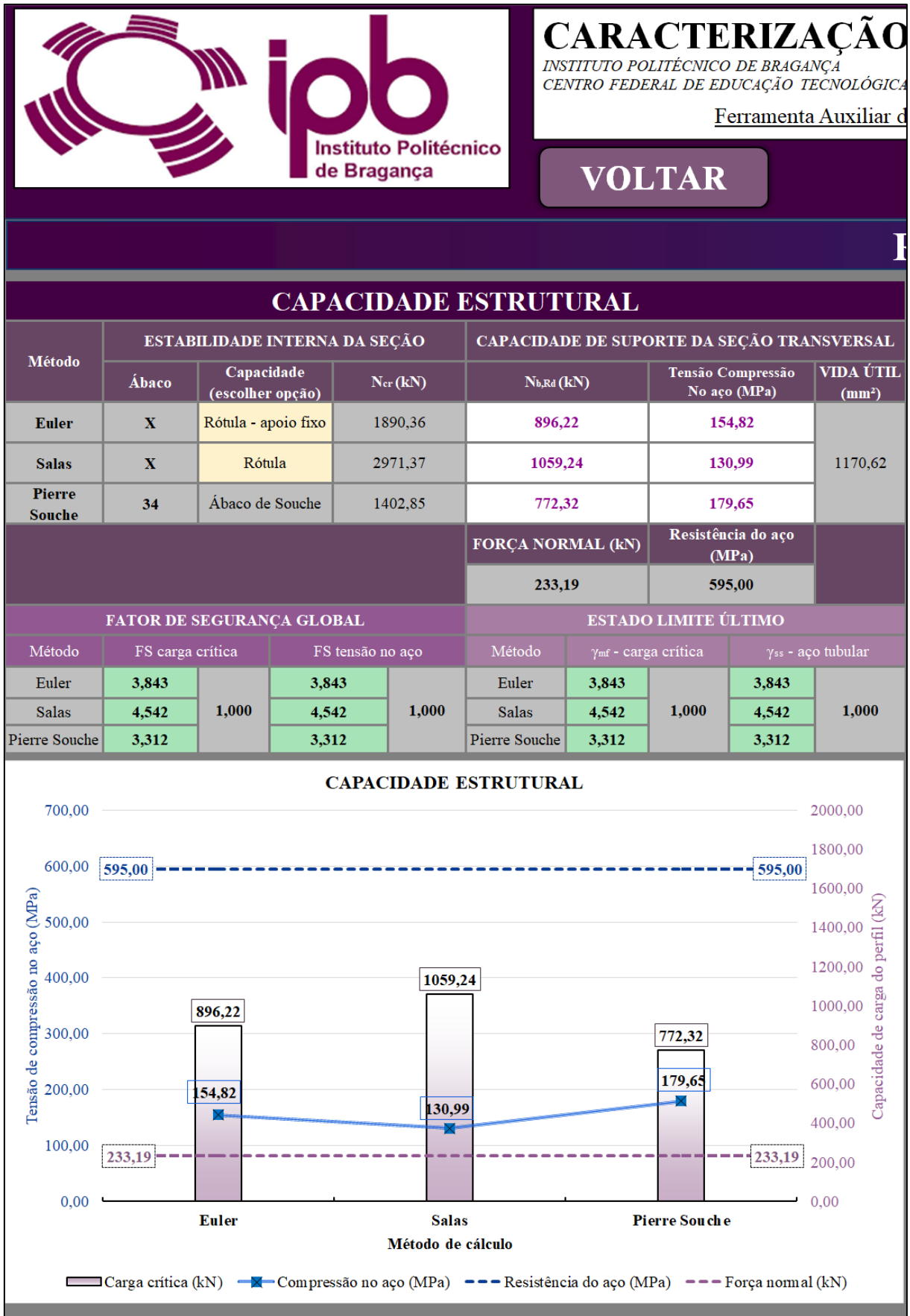



Figura 87 - Resultados - 1º Caso - Diâmetro tubular = 127,0 mm.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA	
Diâmetro de Perforação	0,160 m	2.1. Informações do <b>Caldá de cimento</b>		3.1. Informações do <b>Solo</b>		FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE
Diâmetro efetivo*	0,154 m	Módulo de Elasticidade	28 GPa	PROFUNDIDADES DE SOLO		FS carga crítica	1,00
Comprimento cabeça*	2,00 m	Momento de Inércia	1,85E-05 m <sup>4</sup>	Zona Geotécnica	4 3 2 1	FS tensão no aço	1,00
Comprimento livre	2,00 m	Rigidez a flexão	519,01 kNm <sup>2</sup>	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1 8,0 10,4 15,0	FS seção de tração	2,00
Comprimento raiz	13,00 m	Área de Concreto seção interna	0,0153 m <sup>2</sup>	Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)	0 2,9 2,4 4,6		
Considerar ZG4 como referência	NÃO	f <sub>cd</sub> (MPa)	25 MPa	VALORES DOS ENSAIOS			
Comprimento efetivo*	8,50 m	γ <sub>c</sub>	1,5	NFDM médio	0 22 37 55		
Comprimento TOTAL	15,00 m	f <sub>td</sub> (MPa)	16,67 MPa	N <sub>NET</sub>	0 21 35 52		
Rigidez a flexão raiz	2346,44 kNm <sup>2</sup>	2.2. Informações do <b>aço da Armadura Tubular</b>		TIPOS DE SOLO			
Rigidez a flexão seção interna	2187,10 kNm <sup>2</sup>	Diâmetro exterior	0,1524 m	Libre	Comprimento livre da microestaca		
<p><b>Diâmetro efetivo</b> Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.</p> <p><b>Comprimento cabeça</b> Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.</p> <p><b>Comprimento efetivo</b> L<sub>efetivo</sub> = L<sub>livre</sub> + L<sub>raiz</sub></p>		EspeSSura	0,0065 m	ZG4	Área		
		Módulo de Elasticidade	210 GPa	ZG3	Área		
		Diâmetro interior	0,1394 m	ZG2	Área		
		Momento de Inércia	7,94E-06 m <sup>4</sup>	ZG1	Área		
		Rigidez a flexão	1668,09 kNm <sup>2</sup>	Classificação global do solo LIZZI		Solos rígidos, cascalhos e areias	
		Área de aço	2,98E-03 m <sup>2</sup>	PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA			
		E <sub>s</sub>	595 MPa	γ (kN/m <sup>3</sup> )	0 19 20 20	c' (kPa)	0 0 0 0
		γ <sub>s</sub>	1,00	φ' (°)	27,10 33,15 37,00 41,33	OUTROS PARÂMETROS	
		E <sub>st</sub>	595,00 MPa	OCR	1 1 1 1	E (MPa)	0 92,49 140,20 192,52
		2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO		Euler e Pierre Souche		ρ <sub>lim</sub> (MPa)	0 1,05 1,76 2,62
Rigidez da mola Winkler		6 MN/m <sup>3</sup>		E <sub>m</sub> (MPa)	0 8,70 15,49 23,63		
Pierre Souche		ABACOS DE SOUCHE		α <sub>c</sub>	##### 0,33 0,33 0,33		
m	4,108	2.4. Definir <b>CORROSÃO</b>		3.2. Definir a <b>injeção da calda</b> e outros parâmetros			
w	0,133	CORROSÃO	<input type="checkbox"/>	TIPO	IGU		
Tempo de vida útil		50 anos		Pressão da injeção	0,50 MPa		
F <sub>u,t</sub>		0,5		Condição estrutural	Nova estrutura		
Perda de espessura do tubo corrosão		0,0003 m		Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ	1		

Figura 88 - Informações paramétricas - 1º Caso - Diâmetro tubular = 152,4 mm.

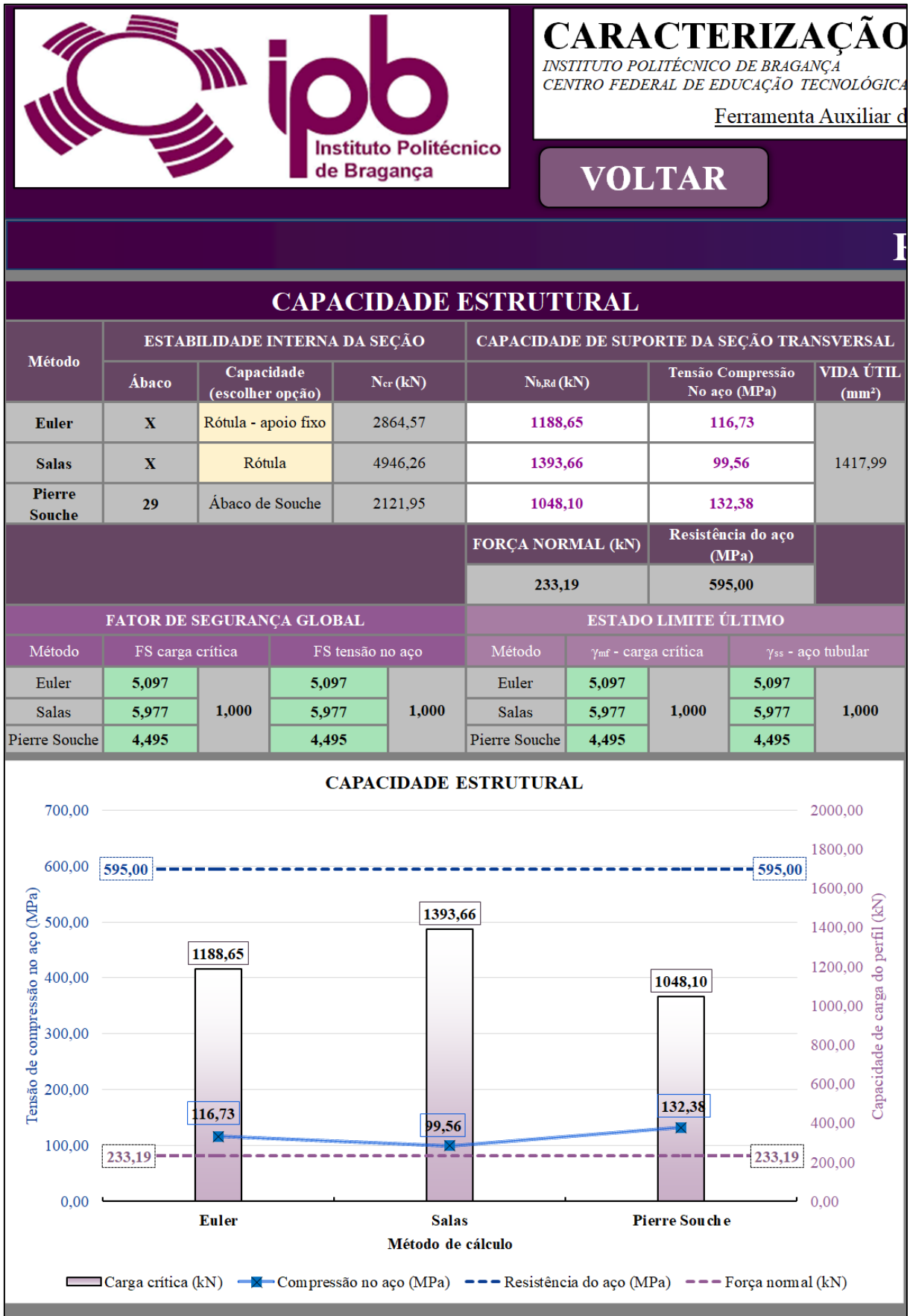



Figura 89 - Resultados - 1º Caso - Diâmetro tubular = 152,4 mm.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA																																																																																																																																																																																																		
<p><b>Diâmetro de Perforação</b> 0,200 m</p> <p><b>Diâmetro efetivo*</b> 0,154 m</p> <p><b>Comprimento cabeça*</b> 2,00 m</p> <p><b>Comprimento livre</b> 2,00 m</p> <p><b>Comprimento raiz</b> 13,00 m</p> <p><b>Considerar ZG4 como referência</b> NÃO</p> <p><b>Comprimento efetivo*</b> 8,50 m</p> <p><b>Comprimento TOTAL</b> 15,00 m</p> <p><b>Rigidez a flexão raiz</b> 4537,64 kNm<sup>2</sup></p> <p><b>Rigidez a flexão seção interna</b> 3712,11 kNm<sup>2</sup></p> <p><b>Diâmetro efetivo</b> Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.</p> <p><b>Comprimento cabeça</b> Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.</p> <p><b>Comprimento efetivo</b> L<sub>efetivo</sub> = L<sub>livre</sub> + L<sub>raiz</sub></p>		<p><b>2.1. Informações do Calda de cimento</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>28</td><td>Gpa</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>3,62E-05</td><td>m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>1013,81</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de Concreto seção interna</td><td>0,0213</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>f<sub>ck</sub> (MPa)</td><td>25</td><td>MPa</td></tr> <tr><td>γc</td><td>1,5</td><td></td></tr> <tr><td>f<sub>cd</sub> (MPa)</td><td>16,67</td><td>MPa</td></tr> </table> <p><b>2.2. Informações do aço da Armadura Tubular</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Diâmetro exterior</td><td>0,1778</td><td>m</td></tr> <tr><td>Espessura</td><td>0,0065</td><td>m</td></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>210</td><td>Gpa</td></tr> <tr><td>Diâmetro interior</td><td>0,1648</td><td>m</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>1,28E-05</td><td>m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>2698,30</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de aço</td><td>3,50E-03</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>E<sub>s</sub></td><td>595</td><td>MPa</td></tr> <tr><td>γs</td><td>1,00</td><td></td></tr> <tr><td>E<sub>sd</sub></td><td>595,00</td><td>MPa</td></tr> </table> <p><b>2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO</b></p> <p style="text-align: center;">Euler e Pierre Souche</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Rigidez da mola Winkler</td><td>6</td><td>MN/m<sup>3</sup></td></tr> </table> <p style="text-align: center;">Pierre Souche</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>m</td><td>3,786</td></tr> <tr><td>w</td><td>0,133</td></tr> </table> <p style="text-align: center;"><b>ABACOS DE SOUCHE</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td></td><td>24</td></tr> </table> <p><b>2.4. Definir CORROSÃO</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>CORROSÃO</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Tempo de vida útil</td><td>50</td><td>anos</td></tr> <tr><td>F<sub>u,t</sub></td><td>0,5</td></tr> <tr><td>Perda de espessura do tubo corrosão</td><td>0,0003</td><td>m</td></tr> </table>		Módulo de Elasticidade	28	Gpa	Momento de Inércia	3,62E-05	m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	1013,81	kNm <sup>2</sup>	Área de Concreto seção interna	0,0213	m <sup>2</sup>	f <sub>ck</sub> (MPa)	25	MPa	γc	1,5		f <sub>cd</sub> (MPa)	16,67	MPa	Diâmetro exterior	0,1778	m	Espessura	0,0065	m	Módulo de Elasticidade	210	Gpa	Diâmetro interior	0,1648	m	Momento de Inércia	1,28E-05	m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	2698,30	kNm <sup>2</sup>	Área de aço	3,50E-03	m <sup>2</sup>	E <sub>s</sub>	595	MPa	γs	1,00		E <sub>sd</sub>	595,00	MPa	Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>	m	3,786	w	0,133		24	CORROSÃO	<input type="checkbox"/>	Tempo de vida útil	50	anos	F <sub>u,t</sub>	0,5	Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003	m	<p><b>3.1. Informações do Solo</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="5">PROFUNDIDADES DE SOLO</th></tr> <tr><td>Zona Geotécnica</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)</td><td>5,1</td><td>8,0</td><td>10,4</td><td>15,0</td></tr> <tr><td>Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)</td><td>0</td><td>2,9</td><td>2,4</td><td>4,6</td></tr> </table> <p><b>VALORES DOS ENSAIOS</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>NFDM médio</td><td>0</td><td>22</td><td>37</td><td>55</td></tr> <tr><td>N<sub>NET</sub></td><td>0</td><td>21</td><td>35</td><td>52</td></tr> </table> <p><b>TIPOS DE SOLO</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>Libre</th><th>Comprimento livre da microestaca</th></tr> <tr><td>ZG4</td><td>Areia</td></tr> <tr><td>ZG3</td><td>Areia</td></tr> <tr><td>ZG2</td><td>Areia</td></tr> <tr><td>ZG1</td><td>Areia</td></tr> </table> <p>Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias</p> <p><b>PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>γ (kN/m<sup>3</sup>)</td><td>0</td><td>19</td><td>20</td><td>20</td></tr> <tr><td>c' (kPa)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>φ' (°)</td><td>27,10</td><td>33,15</td><td>37,00</td><td>41,33</td></tr> </table> <p><b>OUTROS PARÂMETROS</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>OCR</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>E (MPa)</td><td>0</td><td>92,49</td><td>140,20</td><td>192,52</td></tr> <tr><td>ρ<sub>lim</sub> (MPa)</td><td>0</td><td>1,05</td><td>1,76</td><td>2,62</td></tr> <tr><td>E<sub>m</sub> (MPa)</td><td>0</td><td>8,70</td><td>15,49</td><td>23,63</td></tr> <tr><td>α<sub>s</sub></td><td>#####</td><td>0,33</td><td>0,33</td><td>0,33</td></tr> </table> <p><b>3.2. Definir a injeção da calda e outros parâmetros</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>TIPO</td><td>IGU</td></tr> <tr><td>Pressão da injeção</td><td>0,50</td><td>MPa</td></tr> <tr><td>Condição estrutural</td><td>Nova estrutura</td></tr> <tr><td>Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ</td><td>1</td></tr> </table>		PROFUNDIDADES DE SOLO					Zona Geotécnica	4	3	2	1	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	15,0	Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)	0	2,9	2,4	4,6	NFDM médio	0	22	37	55	N <sub>NET</sub>	0	21	35	52	Libre	Comprimento livre da microestaca	ZG4	Areia	ZG3	Areia	ZG2	Areia	ZG1	Areia	γ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20	c' (kPa)	0	0	0	0	φ' (°)	27,10	33,15	37,00	41,33	OCR	1	1	1	1	E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52	ρ <sub>lim</sub> (MPa)	0	1,05	1,76	2,62	E <sub>m</sub> (MPa)	0	8,70	15,49	23,63	α <sub>s</sub>	#####	0,33	0,33	0,33	TIPO	IGU	Pressão da injeção	0,50	MPa	Condição estrutural	Nova estrutura	Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ	1	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>FATOR DE SEGURANÇA</th><th>ESTADO LIMITE</th></tr> <tr><td>FS carga crítica</td><td>1,00</td><td>γ<sub>ul</sub> - carga</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>FS tensão no aço</td><td>1,00</td><td>γ<sub>ms</sub> - atrito</td><td>1,25</td></tr> <tr><td>FS seção da raiz</td><td>2,00</td><td>γ<sub>ms</sub> - coesão</td><td>1,25</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>γ<sub>ts</sub> - raiz total</td><td>1,50</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>γ<sub>ts</sub> - raiz ponta</td><td>1,60</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>γ<sub>ts</sub> - raiz lateral</td><td>1,30</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>γ<sub>ss</sub> - aço</td><td>1,00</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>γ<sub>ss</sub> - calda</td><td>1,50</td></tr> </table>		FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE	FS carga crítica	1,00	γ <sub>ul</sub> - carga	1,00	FS tensão no aço	1,00	γ <sub>ms</sub> - atrito	1,25	FS seção da raiz	2,00	γ <sub>ms</sub> - coesão	1,25			γ <sub>ts</sub> - raiz total	1,50			γ <sub>ts</sub> - raiz ponta	1,60			γ <sub>ts</sub> - raiz lateral	1,30			γ <sub>ss</sub> - aço	1,00			γ <sub>ss</sub> - calda	1,50
Módulo de Elasticidade	28	Gpa																																																																																																																																																																																																						
Momento de Inércia	3,62E-05	m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																						
Rigidez a flexão	1013,81	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																						
Área de Concreto seção interna	0,0213	m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																						
f <sub>ck</sub> (MPa)	25	MPa																																																																																																																																																																																																						
γc	1,5																																																																																																																																																																																																							
f <sub>cd</sub> (MPa)	16,67	MPa																																																																																																																																																																																																						
Diâmetro exterior	0,1778	m																																																																																																																																																																																																						
Espessura	0,0065	m																																																																																																																																																																																																						
Módulo de Elasticidade	210	Gpa																																																																																																																																																																																																						
Diâmetro interior	0,1648	m																																																																																																																																																																																																						
Momento de Inércia	1,28E-05	m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																						
Rigidez a flexão	2698,30	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																						
Área de aço	3,50E-03	m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																						
E <sub>s</sub>	595	MPa																																																																																																																																																																																																						
γs	1,00																																																																																																																																																																																																							
E <sub>sd</sub>	595,00	MPa																																																																																																																																																																																																						
Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>																																																																																																																																																																																																						
m	3,786																																																																																																																																																																																																							
w	0,133																																																																																																																																																																																																							
	24																																																																																																																																																																																																							
CORROSÃO	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																							
Tempo de vida útil	50	anos																																																																																																																																																																																																						
F <sub>u,t</sub>	0,5																																																																																																																																																																																																							
Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003	m																																																																																																																																																																																																						
PROFUNDIDADES DE SOLO																																																																																																																																																																																																								
Zona Geotécnica	4	3	2	1																																																																																																																																																																																																				
Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	15,0																																																																																																																																																																																																				
Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)	0	2,9	2,4	4,6																																																																																																																																																																																																				
NFDM médio	0	22	37	55																																																																																																																																																																																																				
N <sub>NET</sub>	0	21	35	52																																																																																																																																																																																																				
Libre	Comprimento livre da microestaca																																																																																																																																																																																																							
ZG4	Areia																																																																																																																																																																																																							
ZG3	Areia																																																																																																																																																																																																							
ZG2	Areia																																																																																																																																																																																																							
ZG1	Areia																																																																																																																																																																																																							
γ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20																																																																																																																																																																																																				
c' (kPa)	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																				
φ' (°)	27,10	33,15	37,00	41,33																																																																																																																																																																																																				
OCR	1	1	1	1																																																																																																																																																																																																				
E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52																																																																																																																																																																																																				
ρ <sub>lim</sub> (MPa)	0	1,05	1,76	2,62																																																																																																																																																																																																				
E <sub>m</sub> (MPa)	0	8,70	15,49	23,63																																																																																																																																																																																																				
α <sub>s</sub>	#####	0,33	0,33	0,33																																																																																																																																																																																																				
TIPO	IGU																																																																																																																																																																																																							
Pressão da injeção	0,50	MPa																																																																																																																																																																																																						
Condição estrutural	Nova estrutura																																																																																																																																																																																																							
Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ	1																																																																																																																																																																																																							
FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE																																																																																																																																																																																																							
FS carga crítica	1,00	γ <sub>ul</sub> - carga	1,00																																																																																																																																																																																																					
FS tensão no aço	1,00	γ <sub>ms</sub> - atrito	1,25																																																																																																																																																																																																					
FS seção da raiz	2,00	γ <sub>ms</sub> - coesão	1,25																																																																																																																																																																																																					
		γ <sub>ts</sub> - raiz total	1,50																																																																																																																																																																																																					
		γ <sub>ts</sub> - raiz ponta	1,60																																																																																																																																																																																																					
		γ <sub>ts</sub> - raiz lateral	1,30																																																																																																																																																																																																					
		γ <sub>ss</sub> - aço	1,00																																																																																																																																																																																																					
		γ <sub>ss</sub> - calda	1,50																																																																																																																																																																																																					

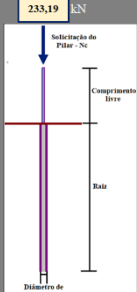


Figura 90 - Informações paramétricas - 1º Caso - Diâmetro tubular = 177,8 mm.

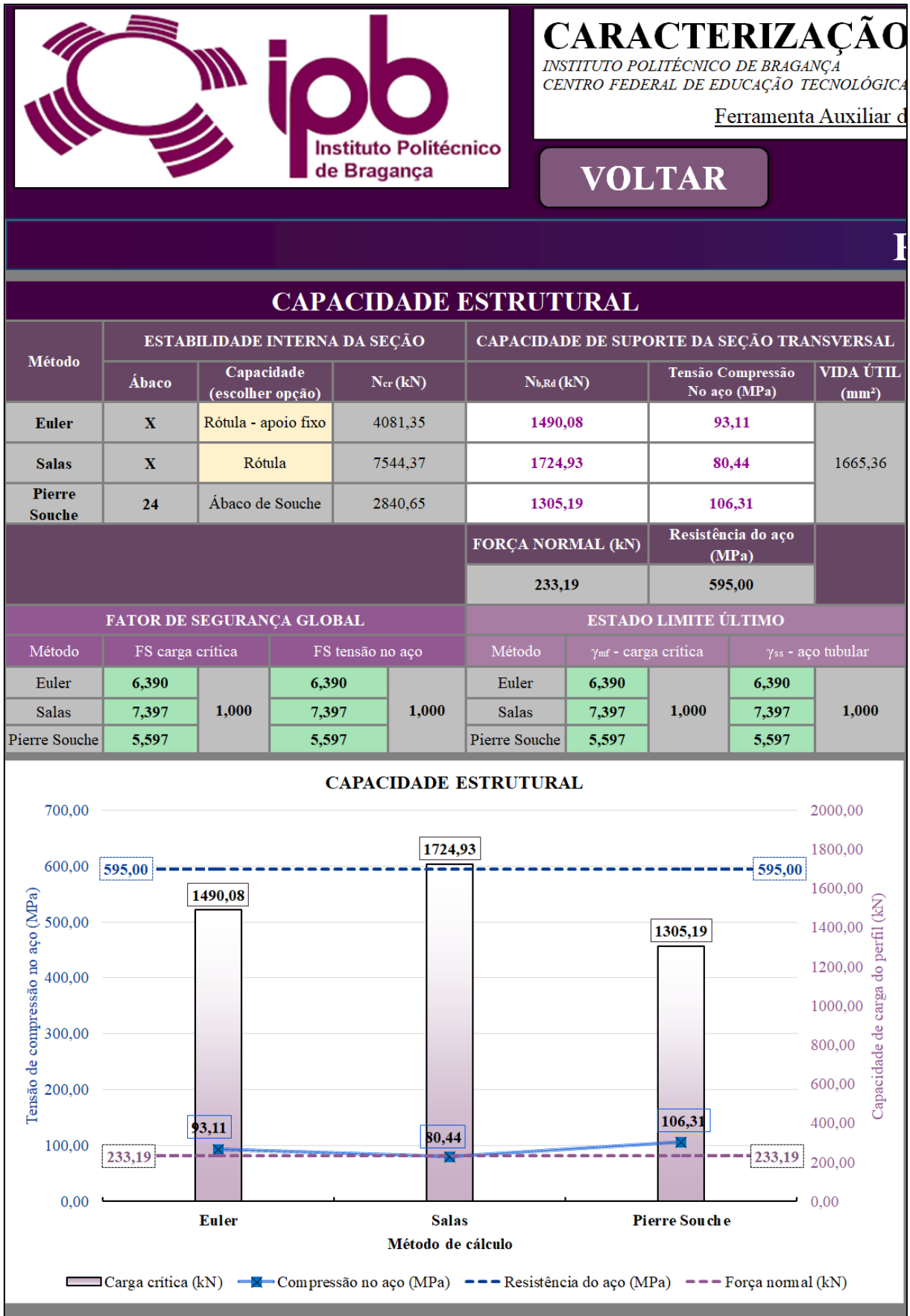



Figura 91 - Resultados - 1º Caso - Diâmetro tubular = 177,8 mm.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

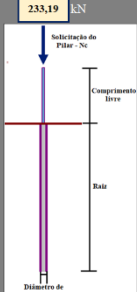
1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA	2. CAPACIDADE ESTRUTURAL	3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA	4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA																																																																																																																																																																																																																																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Dímetro de Perforação</td><td>0,250</td><td>m</td></tr> <tr><td>Dímetro efetivo*</td><td>0,154</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento cabeça*</td><td>2,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento livre</td><td>2,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento raiz</td><td>13,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Considerar ZG4 como referência</td><td>NÃO</td><td></td></tr> <tr><td>Comprimento efetivo*</td><td>8,50</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento TOTAL</td><td>15,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão raiz</td><td>8897,57</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão seção interna</td><td>5862,70</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> </table> <p><small>Dímetro efetivo: Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração. Comprimento cabeça: Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre. Comprimento efetivo: <math>L_{efetivo} = L_{livre} + L_{cabeça}</math></small></p>	Dímetro de Perforação	0,250	m	Dímetro efetivo*	0,154	m	Comprimento cabeça*	2,00	m	Comprimento livre	2,00	m	Comprimento raiz	13,00	m	Considerar ZG4 como referência	NÃO		Comprimento efetivo*	8,50	m	Comprimento TOTAL	15,00	m	Rigidez a flexão raiz	8897,57	kNm <sup>2</sup>	Rigidez a flexão seção interna	5862,70	kNm <sup>2</sup>	<div style="text-align: center; margin-bottom: 10px;">  </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="3">2.1. Informações do Calda de cimento</th></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>28</td><td>Gpa</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>6,40E-05</td><td>m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>1791,19</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de Concreto seção interna</td><td>0,0284</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>f_{ck}</math> (MPa)</td><td>25</td><td>MPa</td></tr> <tr><td><math>\gamma_c</math></td><td>1,5</td><td></td></tr> <tr><td><math>f_{cd}</math> (MPa)</td><td>16,67</td><td>MPa</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <tr><th colspan="3">2.2. Informações do aço da Armadura Tubular</th></tr> <tr><td>Dímetro exterior</td><td>0,203</td><td>m</td></tr> <tr><td>Espessura</td><td>0,0065</td><td>m</td></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>210</td><td>Gpa</td></tr> <tr><td>Dímetro interior</td><td>0,1900</td><td>m</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>1,94E-05</td><td>m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>4071,51</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de aço</td><td>4,01E-03</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>E_s</math></td><td>595</td><td>MPa</td></tr> <tr><td><math>\gamma_s</math></td><td>1,00</td><td></td></tr> <tr><td><math>E_{st}</math></td><td>595,00</td><td>MPa</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <tr><th colspan="3">2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO</th></tr> <tr><th colspan="3">Euler e Pierre Souche</th></tr> <tr><td>Rigidez da mola Winkler</td><td>6</td><td>MN/m<sup>3</sup></td></tr> <tr><th colspan="3">Pierre Souche</th></tr> <tr><td>m</td><td>3,531</td><td></td></tr> <tr><td>w</td><td>0,133</td><td></td></tr> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;"><b>ABACOS DE SOUCHE</b></td></tr> <tr><td></td><td></td><td style="text-align: center;">21</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <tr><th colspan="2">2.4. Definir CORROSÃO</th></tr> <tr><td>CORROSÃO</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Tempo de vida útil</td><td>50 anos</td></tr> <tr><td><math>F_{u,t}</math></td><td>0,5</td></tr> <tr><td>Perda de espessura do tubo corrosão</td><td>0,0003 m</td></tr> </table>	2.1. Informações do Calda de cimento			Módulo de Elasticidade	28	Gpa	Momento de Inércia	6,40E-05	m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	1791,19	kNm <sup>2</sup>	Área de Concreto seção interna	0,0284	m <sup>2</sup>	$f_{ck}$ (MPa)	25	MPa	$\gamma_c$	1,5		$f_{cd}$ (MPa)	16,67	MPa	2.2. Informações do aço da Armadura Tubular			Dímetro exterior	0,203	m	Espessura	0,0065	m	Módulo de Elasticidade	210	Gpa	Dímetro interior	0,1900	m	Momento de Inércia	1,94E-05	m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	4071,51	kNm <sup>2</sup>	Área de aço	4,01E-03	m <sup>2</sup>	$E_s$	595	MPa	$\gamma_s$	1,00		$E_{st}$	595,00	MPa	2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO			Euler e Pierre Souche			Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>	Pierre Souche			m	3,531		w	0,133		<b>ABACOS DE SOUCHE</b>					21	2.4. Definir CORROSÃO		CORROSÃO	<input type="checkbox"/>	Tempo de vida útil	50 anos	$F_{u,t}$	0,5	Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003 m	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="5">3.1. Informações do Solo</th></tr> <tr><th colspan="5">PROFUNDIDADES DE SOLO</th></tr> <tr><td>Zona Geotécnica</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)</td><td>5,1</td><td>8,0</td><td>10,4</td><td>15,0</td></tr> <tr><td>Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)</td><td>0</td><td>2,9</td><td>2,4</td><td>4,6</td></tr> <tr><th colspan="5">VALORES DOS ENSAIOS</th></tr> <tr><td>NFDM solo</td><td>0</td><td>22</td><td>37</td><td>55</td></tr> <tr><td>N<sub>NET</sub></td><td>0</td><td>21</td><td>35</td><td>52</td></tr> <tr><th colspan="5">TIPOS DE SOLO</th></tr> <tr><td>Libre</td><td colspan="4">Comprimento livre da microestaca</td></tr> <tr><td>ZG4</td><td colspan="4">Areia</td></tr> <tr><td>ZG3</td><td colspan="4">Areia</td></tr> <tr><td>ZG2</td><td colspan="4">Areia</td></tr> <tr><td>ZG1</td><td colspan="4">Areia</td></tr> <tr><td colspan="5">Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias</td></tr> <tr><th colspan="5">PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA</th></tr> <tr><td><math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</td><td>0</td><td>19</td><td>20</td><td>20</td></tr> <tr><td><math>c'</math> (kPa)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td><math>\phi'</math> (°)</td><td>27,10</td><td>33,15</td><td>37,00</td><td>41,33</td></tr> <tr><th colspan="5">OUTROS PARÂMETROS</th></tr> <tr><td>OCR</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>E (MPa)</td><td>0</td><td>92,49</td><td>140,20</td><td>192,52</td></tr> <tr><td><math>\rho_{lim}</math> (MPa)</td><td>0</td><td>1,05</td><td>1,76</td><td>2,62</td></tr> <tr><td><math>E_{s0}</math> (MPa)</td><td>0</td><td>8,70</td><td>15,49</td><td>23,63</td></tr> <tr><td><math>\alpha_c</math></td><td>#####</td><td>0,33</td><td>0,33</td><td>0,33</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <tr><th colspan="2">3.2. Definir a injeção da calda e outros parâmetros</th></tr> <tr><td>TIPO</td><td>IGU</td></tr> <tr><td>Pressão da injeção</td><td>0,50 MPa</td></tr> <tr><td>Condição estrutural</td><td>Nova estrutura</td></tr> <tr><td>Fator de influência (solo-estrutura) que minora o <math>\phi</math></td><td>1</td></tr> </table>	3.1. Informações do Solo					PROFUNDIDADES DE SOLO					Zona Geotécnica	4	3	2	1	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	15,0	Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)	0	2,9	2,4	4,6	VALORES DOS ENSAIOS					NFDM solo	0	22	37	55	N <sub>NET</sub>	0	21	35	52	TIPOS DE SOLO					Libre	Comprimento livre da microestaca				ZG4	Areia				ZG3	Areia				ZG2	Areia				ZG1	Areia				Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias					PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA					$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20	$c'$ (kPa)	0	0	0	0	$\phi'$ (°)	27,10	33,15	37,00	41,33	OUTROS PARÂMETROS					OCR	1	1	1	1	E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52	$\rho_{lim}$ (MPa)	0	1,05	1,76	2,62	$E_{s0}$ (MPa)	0	8,70	15,49	23,63	$\alpha_c$	#####	0,33	0,33	0,33	3.2. Definir a injeção da calda e outros parâmetros		TIPO	IGU	Pressão da injeção	0,50 MPa	Condição estrutural	Nova estrutura	Fator de influência (solo-estrutura) que minora o $\phi$	1	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>FATOR DE SEGURANÇA</th><th>ESTADO LIMITE</th></tr> <tr><td>FS carga crítica</td><td>1,00 <math>\gamma_{ul}</math> - carga</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>FS tensão no aço</td><td>1,00 <math>\gamma_{ms}</math> - atrito</td><td>1,25</td></tr> <tr><td>FS seção da raiz</td><td>2,00 <math>\gamma_{ms}</math> - coesão</td><td>1,25</td></tr> <tr><td></td><td><math>\gamma_{ts}</math> - raiz total</td><td>1,50</td></tr> <tr><td></td><td><math>\gamma_{ts}</math> - raiz ponta</td><td>1,60</td></tr> <tr><td></td><td><math>\gamma_{ls}</math> - raiz lateral</td><td>1,30</td></tr> <tr><td></td><td><math>\gamma_{sa}</math> - aço</td><td>1,00</td></tr> <tr><td></td><td><math>\gamma_{sc}</math> - calda</td><td>1,50</td></tr> </table>	FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE	FS carga crítica	1,00 $\gamma_{ul}$ - carga	1,00	FS tensão no aço	1,00 $\gamma_{ms}$ - atrito	1,25	FS seção da raiz	2,00 $\gamma_{ms}$ - coesão	1,25		$\gamma_{ts}$ - raiz total	1,50		$\gamma_{ts}$ - raiz ponta	1,60		$\gamma_{ls}$ - raiz lateral	1,30		$\gamma_{sa}$ - aço	1,00		$\gamma_{sc}$ - calda	1,50
Dímetro de Perforação	0,250	m																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Dímetro efetivo*	0,154	m																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Comprimento cabeça*	2,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Comprimento livre	2,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Comprimento raiz	13,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Considerar ZG4 como referência	NÃO																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Comprimento efetivo*	8,50	m																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Comprimento TOTAL	15,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Rigidez a flexão raiz	8897,57	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Rigidez a flexão seção interna	5862,70	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																											
2.1. Informações do Calda de cimento																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Módulo de Elasticidade	28	Gpa																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Momento de Inércia	6,40E-05	m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Rigidez a flexão	1791,19	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Área de Concreto seção interna	0,0284	m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																											
$f_{ck}$ (MPa)	25	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																											
$\gamma_c$	1,5																																																																																																																																																																																																																																																																																												
$f_{cd}$ (MPa)	16,67	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																											
2.2. Informações do aço da Armadura Tubular																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Dímetro exterior	0,203	m																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Espessura	0,0065	m																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Módulo de Elasticidade	210	Gpa																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Dímetro interior	0,1900	m																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Momento de Inércia	1,94E-05	m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Rigidez a flexão	4071,51	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Área de aço	4,01E-03	m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																											
$E_s$	595	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																											
$\gamma_s$	1,00																																																																																																																																																																																																																																																																																												
$E_{st}$	595,00	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																											
2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Euler e Pierre Souche																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Pierre Souche																																																																																																																																																																																																																																																																																													
m	3,531																																																																																																																																																																																																																																																																																												
w	0,133																																																																																																																																																																																																																																																																																												
<b>ABACOS DE SOUCHE</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																													
		21																																																																																																																																																																																																																																																																																											
2.4. Definir CORROSÃO																																																																																																																																																																																																																																																																																													
CORROSÃO	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Tempo de vida útil	50 anos																																																																																																																																																																																																																																																																																												
$F_{u,t}$	0,5																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003 m																																																																																																																																																																																																																																																																																												
3.1. Informações do Solo																																																																																																																																																																																																																																																																																													
PROFUNDIDADES DE SOLO																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Zona Geotécnica	4	3	2	1																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	15,0																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)	0	2,9	2,4	4,6																																																																																																																																																																																																																																																																																									
VALORES DOS ENSAIOS																																																																																																																																																																																																																																																																																													
NFDM solo	0	22	37	55																																																																																																																																																																																																																																																																																									
N <sub>NET</sub>	0	21	35	52																																																																																																																																																																																																																																																																																									
TIPOS DE SOLO																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Libre	Comprimento livre da microestaca																																																																																																																																																																																																																																																																																												
ZG4	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																												
ZG3	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																												
ZG2	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																												
ZG1	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias																																																																																																																																																																																																																																																																																													
PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA																																																																																																																																																																																																																																																																																													
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20																																																																																																																																																																																																																																																																																									
$c'$ (kPa)	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																									
$\phi'$ (°)	27,10	33,15	37,00	41,33																																																																																																																																																																																																																																																																																									
OUTROS PARÂMETROS																																																																																																																																																																																																																																																																																													
OCR	1	1	1	1																																																																																																																																																																																																																																																																																									
E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52																																																																																																																																																																																																																																																																																									
$\rho_{lim}$ (MPa)	0	1,05	1,76	2,62																																																																																																																																																																																																																																																																																									
$E_{s0}$ (MPa)	0	8,70	15,49	23,63																																																																																																																																																																																																																																																																																									
$\alpha_c$	#####	0,33	0,33	0,33																																																																																																																																																																																																																																																																																									
3.2. Definir a injeção da calda e outros parâmetros																																																																																																																																																																																																																																																																																													
TIPO	IGU																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Pressão da injeção	0,50 MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Condição estrutural	Nova estrutura																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Fator de influência (solo-estrutura) que minora o $\phi$	1																																																																																																																																																																																																																																																																																												
FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE																																																																																																																																																																																																																																																																																												
FS carga crítica	1,00 $\gamma_{ul}$ - carga	1,00																																																																																																																																																																																																																																																																																											
FS tensão no aço	1,00 $\gamma_{ms}$ - atrito	1,25																																																																																																																																																																																																																																																																																											
FS seção da raiz	2,00 $\gamma_{ms}$ - coesão	1,25																																																																																																																																																																																																																																																																																											
	$\gamma_{ts}$ - raiz total	1,50																																																																																																																																																																																																																																																																																											
	$\gamma_{ts}$ - raiz ponta	1,60																																																																																																																																																																																																																																																																																											
	$\gamma_{ls}$ - raiz lateral	1,30																																																																																																																																																																																																																																																																																											
	$\gamma_{sa}$ - aço	1,00																																																																																																																																																																																																																																																																																											
	$\gamma_{sc}$ - calda	1,50																																																																																																																																																																																																																																																																																											

Figura 92 - Informações paramétricas - 1º Caso - Diâmetro tubular = 203,0 mm.

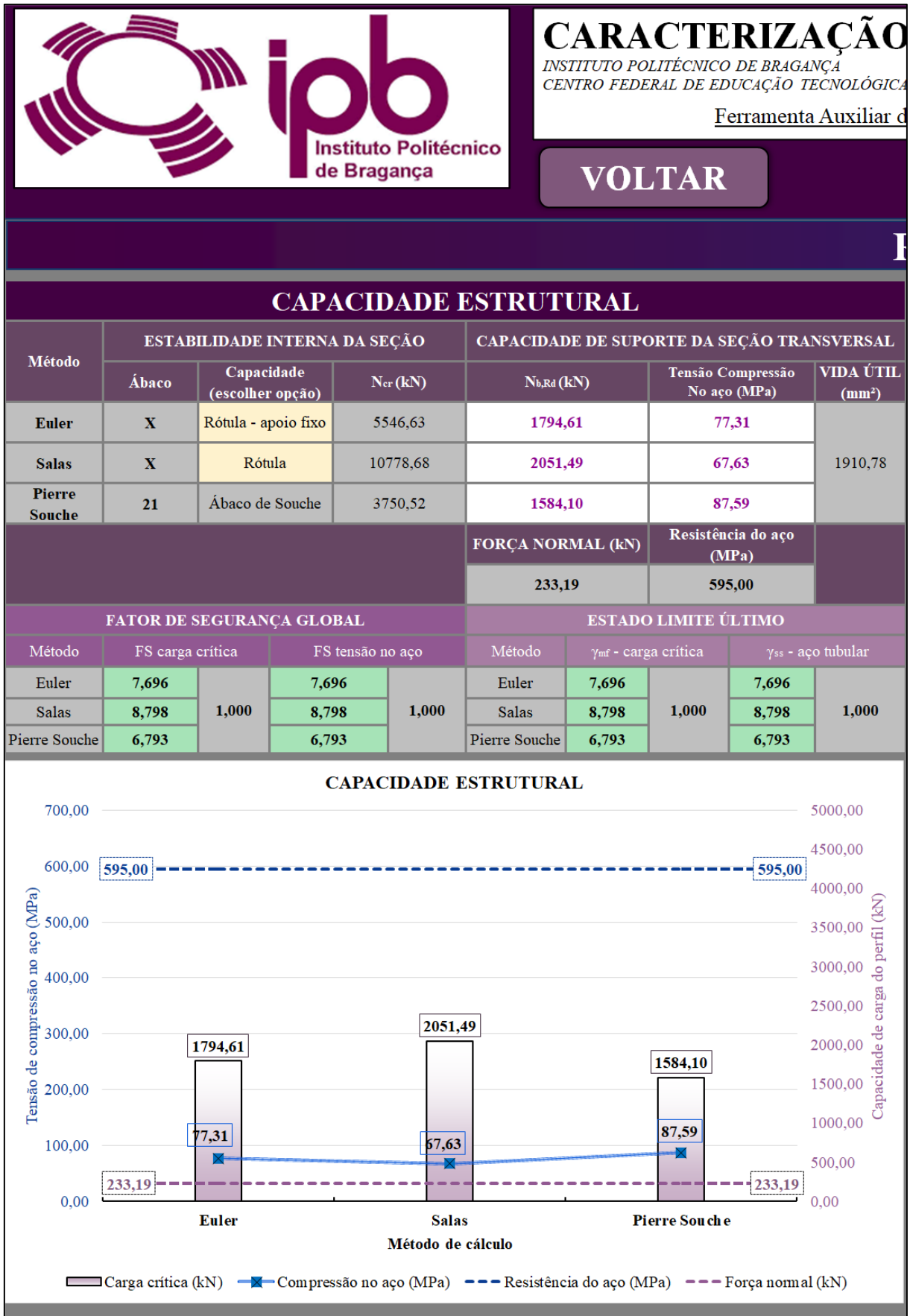



Figura 93 - Resultados - 1º Caso - Diâmetro tubular = 203,0 mm.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

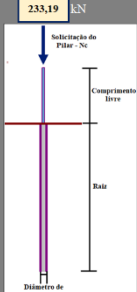









1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA	2. CAPACIDADE ESTRUTURAL	3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA	4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Diâmetro de Perforação</td><td>0,250</td><td>m</td></tr> <tr><td>Diâmetro efetivo*</td><td>0,154</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento cabeça*</td><td>2,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento livre</td><td>2,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento raiz</td><td>13,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Considerar ZG4 como referência</td><td>NÃO</td><td></td></tr> <tr><td>Comprimento efetivo*</td><td>8,50</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento TOTAL</td><td>15,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão raiz</td><td>#####</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão seção interna</td><td>#####</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> </table> <p><small>Diâmetro efetivo: Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração. Comprimento cabeça: Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre. Comprimento efetivo: <math>L_{efetivo} = L_{livre} + L_{cabeça}</math></small></p>	Diâmetro de Perforação	0,250	m	Diâmetro efetivo*	0,154	m	Comprimento cabeça*	2,00	m	Comprimento livre	2,00	m	Comprimento raiz	13,00	m	Considerar ZG4 como referência	NÃO		Comprimento efetivo*	8,50	m	Comprimento TOTAL	15,00	m	Rigidez a flexão raiz	#####	kNm <sup>2</sup>	Rigidez a flexão seção interna	#####	kNm <sup>2</sup>	<div style="text-align: center;">  <p>233,19 kN</p> <p>Solicitação do Pilar - Nc</p> <p>Comprimento livre</p> <p>Raiz</p> <p>Diâmetro de perfuração</p> </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="4" style="text-align: center;"><b>2.1. Informações do Calda de cimento</b></td></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>28</td><td>Gpa</td><td></td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>1,40E-04</td><td>m<sup>4</sup></td><td></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>3913,59</td><td>kNm<sup>2</sup></td><td></td></tr> <tr><td>Área de Concreto seção interna</td><td>0,0419</td><td>m<sup>2</sup></td><td></td></tr> <tr><td><math>f_{ck}</math> (MPa)</td><td>25</td><td>MPa</td><td></td></tr> <tr><td><math>\gamma_c</math></td><td>1,5</td><td></td><td></td></tr> <tr><td><math>f_{cd}</math> (MPa)</td><td>16,67</td><td>MPa</td><td></td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="4" style="text-align: center;"><b>2.2. Informações do aço da Armadura Tubular</b></td></tr> <tr><td>Diâmetro exterior</td><td>0,244</td><td>m</td><td></td></tr> <tr><td>Espessura</td><td>0,0065</td><td>m</td><td></td></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>210</td><td>Gpa</td><td></td></tr> <tr><td>Diâmetro interior</td><td>0,2310</td><td>m</td><td></td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>3,42E-05</td><td>m<sup>4</sup></td><td></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>7186,35</td><td>kNm<sup>2</sup></td><td></td></tr> <tr><td>Área de aço</td><td>4,85E-03</td><td>m<sup>2</sup></td><td></td></tr> <tr><td><math>E_s</math></td><td>595</td><td>MPa</td><td></td></tr> <tr><td><math>\gamma_s</math></td><td>1,00</td><td></td><td></td></tr> <tr><td><math>E_{sd}</math></td><td>595,00</td><td>MPa</td><td></td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="4" style="text-align: center;"><b>2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO</b></td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: center;">Euler e Pierre Souche</td></tr> <tr><td>Rigidez da mola Winkler</td><td>6</td><td>MN/m<sup>3</sup></td><td></td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: center;">Pierre Souche</td></tr> <tr><td>m</td><td>3,208</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>w</td><td>0,133</td><td></td><td></td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="4" style="text-align: center;"><b>2.4. Definir CORROSÃO</b></td></tr> <tr><td>CORROSÃO</td><td><input type="checkbox"/></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Tempo de vida útil</td><td>50</td><td>anos</td><td></td></tr> <tr><td><math>F_{u,t}</math></td><td>0,5</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Perda de espessura do tubo corrosão</td><td>0,0003</td><td>m</td><td></td></tr> </table>	<b>2.1. Informações do Calda de cimento</b>				Módulo de Elasticidade	28	Gpa		Momento de Inércia	1,40E-04	m <sup>4</sup>		Rigidez a flexão	3913,59	kNm <sup>2</sup>		Área de Concreto seção interna	0,0419	m <sup>2</sup>		$f_{ck}$ (MPa)	25	MPa		$\gamma_c$	1,5			$f_{cd}$ (MPa)	16,67	MPa		<b>2.2. Informações do aço da Armadura Tubular</b>				Diâmetro exterior	0,244	m		Espessura	0,0065	m		Módulo de Elasticidade	210	Gpa		Diâmetro interior	0,2310	m		Momento de Inércia	3,42E-05	m <sup>4</sup>		Rigidez a flexão	7186,35	kNm <sup>2</sup>		Área de aço	4,85E-03	m <sup>2</sup>		$E_s$	595	MPa		$\gamma_s$	1,00			$E_{sd}$	595,00	MPa		<b>2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO</b>				Euler e Pierre Souche				Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>		Pierre Souche				m	3,208			w	0,133			<b>2.4. Definir CORROSÃO</b>				CORROSÃO	<input type="checkbox"/>			Tempo de vida útil	50	anos		$F_{u,t}$	0,5			Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003	m		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="5" style="text-align: center;"><b>3.1. Informações do Solo</b></td></tr> <tr><td colspan="5" style="text-align: center;">PROFUNDIDADES DE SOLO</td></tr> <tr><td>Zona Geotécnica</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)</td><td>5,1</td><td>8,0</td><td>10,4</td><td>15,0</td></tr> <tr><td>Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)</td><td>0</td><td>2,9</td><td>2,4</td><td>4,6</td></tr> <tr><td colspan="5" style="text-align: center;">VALORES DOS ENSAIOS</td></tr> <tr><td>NPM<sub>av</sub> (MPa)</td><td>0</td><td>22</td><td>37</td><td>55</td></tr> <tr><td>N<sub>PT</sub></td><td>0</td><td>21</td><td>35</td><td>52</td></tr> <tr><td colspan="5" style="text-align: center;">TIPOS DE SOLO</td></tr> <tr><td>Libre</td><td colspan="4">Comprimento livre da microestaca</td></tr> <tr><td>ZG4</td><td colspan="4">Areia</td></tr> <tr><td>ZG3</td><td colspan="4">Areia</td></tr> <tr><td>ZG2</td><td colspan="4">Areia</td></tr> <tr><td>ZG1</td><td colspan="4">Areia</td></tr> <tr><td colspan="5">Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias</td></tr> <tr><td colspan="5" style="text-align: center;">PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA</td></tr> <tr><td><math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</td><td>0</td><td>19</td><td>20</td><td>20</td></tr> <tr><td><math>c'</math> (kPa)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td><math>\phi'</math> (°)</td><td>27,10</td><td>33,15</td><td>37,00</td><td>41,33</td></tr> <tr><td colspan="5" style="text-align: center;">OUTROS PARÂMETROS</td></tr> <tr><td>OCR</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>E (MPa)</td><td>0</td><td>92,49</td><td>140,20</td><td>192,52</td></tr> <tr><td><math>\rho_{lim}</math> (MPa)</td><td>0</td><td>1,05</td><td>1,76</td><td>2,62</td></tr> <tr><td><math>E_{m}</math> (MPa)</td><td>0</td><td>8,70</td><td>15,49</td><td>23,63</td></tr> <tr><td><math>\alpha_c</math></td><td>#####</td><td>0,33</td><td>0,33</td><td>0,33</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;"><b>3.2. Definir a injeção da calda e outros parâmetros</b></td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>IGU</td></tr> <tr><td>Pressão da injeção</td><td>0,50 MPa</td></tr> <tr><td>Condição estrutural</td><td>Nova estrutura</td></tr> <tr><td>Fator de influência (solo-estrutura) que minora o <math>\phi</math></td><td>1</td></tr> </table>	<b>3.1. Informações do Solo</b>					PROFUNDIDADES DE SOLO					Zona Geotécnica	4	3	2	1	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	15,0	Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)	0	2,9	2,4	4,6	VALORES DOS ENSAIOS					NPM <sub>av</sub> (MPa)	0	22	37	55	N <sub>PT</sub>	0	21	35	52	TIPOS DE SOLO					Libre	Comprimento livre da microestaca				ZG4	Areia				ZG3	Areia				ZG2	Areia				ZG1	Areia				Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias					PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA					$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20	$c'$ (kPa)	0	0	0	0	$\phi'$ (°)	27,10	33,15	37,00	41,33	OUTROS PARÂMETROS					OCR	1	1	1	1	E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52	$\rho_{lim}$ (MPa)	0	1,05	1,76	2,62	$E_{m}$ (MPa)	0	8,70	15,49	23,63	$\alpha_c$	#####	0,33	0,33	0,33	<b>3.2. Definir a injeção da calda e outros parâmetros</b>		TIPO	IGU	Pressão da injeção	0,50 MPa	Condição estrutural	Nova estrutura	Fator de influência (solo-estrutura) que minora o $\phi$	1	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>FATOR DE SEGURANÇA</td><td>ESTADO LIMITE</td></tr> <tr><td>FS carga crítica</td><td>1,00</td><td><math>\gamma_{ul}</math> - carga</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>FS tensão no aço</td><td>1,00</td><td><math>\gamma_{ms}</math> - atrito</td><td>1,25</td></tr> <tr><td>FS seção da raiz</td><td>2,00</td><td><math>\gamma_{ms}</math> - coesão</td><td>1,25</td></tr> <tr><td></td><td></td><td><math>\gamma_t</math> - raiz total</td><td>1,50</td></tr> <tr><td></td><td></td><td><math>\gamma_b</math> - raiz ponta</td><td>1,60</td></tr> <tr><td></td><td></td><td><math>\gamma_l</math> - raiz lateral</td><td>1,30</td></tr> <tr><td></td><td></td><td><math>\gamma_{sa}</math> - aço</td><td>1,00</td></tr> <tr><td></td><td></td><td><math>\gamma_{sc}</math> - calda</td><td>1,50</td></tr> </table>	FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE	FS carga crítica	1,00	$\gamma_{ul}$ - carga	1,00	FS tensão no aço	1,00	$\gamma_{ms}$ - atrito	1,25	FS seção da raiz	2,00	$\gamma_{ms}$ - coesão	1,25			$\gamma_t$ - raiz total	1,50			$\gamma_b$ - raiz ponta	1,60			$\gamma_l$ - raiz lateral	1,30			$\gamma_{sa}$ - aço	1,00			$\gamma_{sc}$ - calda	1,50
Diâmetro de Perforação	0,250	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Diâmetro efetivo*	0,154	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Comprimento cabeça*	2,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Comprimento livre	2,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Comprimento raiz	13,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Considerar ZG4 como referência	NÃO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Comprimento efetivo*	8,50	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Comprimento TOTAL	15,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Rigidez a flexão raiz	#####	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Rigidez a flexão seção interna	#####	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
<b>2.1. Informações do Calda de cimento</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Módulo de Elasticidade	28	Gpa																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Momento de Inércia	1,40E-04	m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Rigidez a flexão	3913,59	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Área de Concreto seção interna	0,0419	m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
$f_{ck}$ (MPa)	25	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
$\gamma_c$	1,5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
$f_{cd}$ (MPa)	16,67	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
<b>2.2. Informações do aço da Armadura Tubular</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Diâmetro exterior	0,244	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Espessura	0,0065	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Módulo de Elasticidade	210	Gpa																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Diâmetro interior	0,2310	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Momento de Inércia	3,42E-05	m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Rigidez a flexão	7186,35	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Área de aço	4,85E-03	m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
$E_s$	595	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
$\gamma_s$	1,00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
$E_{sd}$	595,00	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
<b>2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Euler e Pierre Souche																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Pierre Souche																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
m	3,208																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
w	0,133																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
<b>2.4. Definir CORROSÃO</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
CORROSÃO	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Tempo de vida útil	50	anos																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
$F_{u,t}$	0,5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
<b>3.1. Informações do Solo</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
PROFUNDIDADES DE SOLO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Zona Geotécnica	4	3	2	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	15,0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)	0	2,9	2,4	4,6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
VALORES DOS ENSAIOS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
NPM <sub>av</sub> (MPa)	0	22	37	55																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
N <sub>PT</sub>	0	21	35	52																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
TIPOS DE SOLO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Libre	Comprimento livre da microestaca																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
ZG4	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
ZG3	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
ZG2	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
ZG1	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
$c'$ (kPa)	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
$\phi'$ (°)	27,10	33,15	37,00	41,33																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
OUTROS PARÂMETROS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
OCR	1	1	1	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
$\rho_{lim}$ (MPa)	0	1,05	1,76	2,62																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
$E_{m}$ (MPa)	0	8,70	15,49	23,63																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
$\alpha_c$	#####	0,33	0,33	0,33																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
<b>3.2. Definir a injeção da calda e outros parâmetros</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
TIPO	IGU																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Pressão da injeção	0,50 MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Condição estrutural	Nova estrutura																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Fator de influência (solo-estrutura) que minora o $\phi$	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
FS carga crítica	1,00	$\gamma_{ul}$ - carga	1,00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
FS tensão no aço	1,00	$\gamma_{ms}$ - atrito	1,25																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
FS seção da raiz	2,00	$\gamma_{ms}$ - coesão	1,25																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
		$\gamma_t$ - raiz total	1,50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
		$\gamma_b$ - raiz ponta	1,60																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
		$\gamma_l$ - raiz lateral	1,30																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
		$\gamma_{sa}$ - aço	1,00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
		$\gamma_{sc}$ - calda	1,50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															

Figura 94 - Informações paramétricas - 1º Caso - Diâmetro tubular = 244,0 mm.

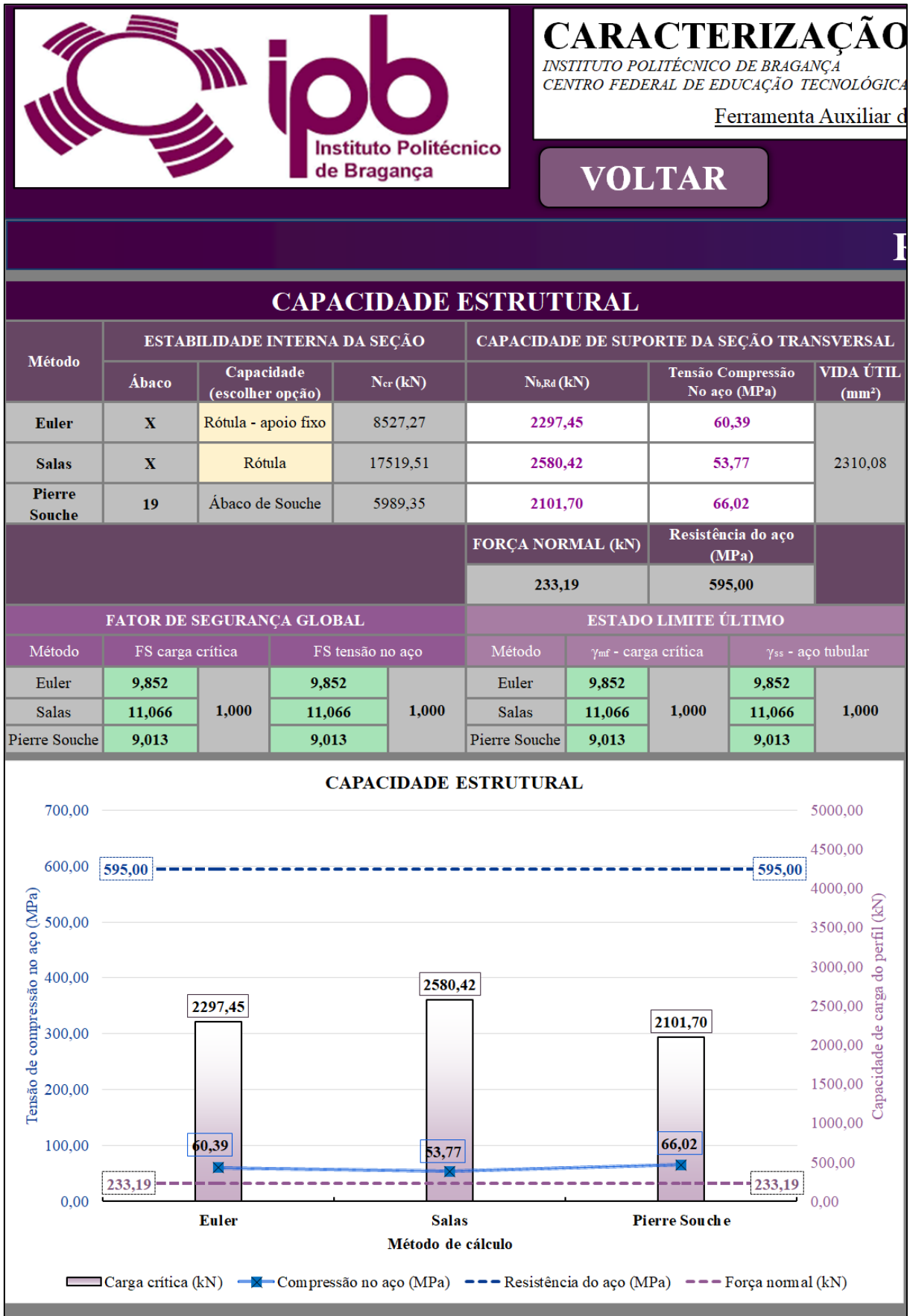



Figura 95 - Resultados - 1º Caso - Diâmetro tubular = 244,0 mm.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

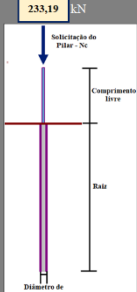
1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA																																																																																																																																																																																																																																																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Diâmetro de Perforação</td><td>0,300</td><td>m</td></tr> <tr><td>Diâmetro efetivo*</td><td>0,154</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento cabeça*</td><td>2,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento livre</td><td>2,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento raiz</td><td>13,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Considerar ZG4 como referência</td><td>NÃO</td><td></td></tr> <tr><td>Comprimento efetivo*</td><td>8,50</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento TOTAL</td><td>15,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão raiz</td><td>#####</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão seção interna</td><td>#####</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> </table> <p><small>Diâmetro efetivo: Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração. Comprimento cabeça: Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre. Comprimento efetivo: <math>L_{efetivo} = L_{livre} + L_{cabeça}</math></small></p>	Diâmetro de Perforação	0,300	m	Diâmetro efetivo*	0,154	m	Comprimento cabeça*	2,00	m	Comprimento livre	2,00	m	Comprimento raiz	13,00	m	Considerar ZG4 como referência	NÃO		Comprimento efetivo*	8,50	m	Comprimento TOTAL	15,00	m	Rigidez a flexão raiz	#####	kNm <sup>2</sup>	Rigidez a flexão seção interna	#####	kNm <sup>2</sup>		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="3">2.1. Informações do Calda de cimento</th></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>28</td><td>Gpa</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>3,24E-04</td><td>m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>9067,91</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de Concreto seção interna</td><td>0,0638</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>f_{ck}</math> (MPa)</td><td>25</td><td>MPa</td></tr> <tr><td><math>\gamma_c</math></td><td>1,5</td><td></td></tr> <tr><td><math>f_{cd}</math> (MPa)</td><td>16,67</td><td>MPa</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="3">2.2. Informações do aço da Armadura Tubular</th></tr> <tr><td>Diâmetro exterior</td><td>0,298</td><td>m</td></tr> <tr><td>Espessura</td><td>0,0065</td><td>m</td></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>210</td><td>Gpa</td></tr> <tr><td>Diâmetro interior</td><td>0,2850</td><td>m</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>6,33E-05</td><td>m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>13283,85</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de aço</td><td>5,95E-03</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>E_s</math></td><td>595</td><td>MPa</td></tr> <tr><td><math>\gamma_s</math></td><td>1,00</td><td></td></tr> <tr><td><math>E_{st}</math></td><td>595,00</td><td>MPa</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="3">2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO</th></tr> <tr><th colspan="3">Euler e Pierre Souche</th></tr> <tr><td>Rigidez da mola Winkler</td><td>6</td><td>MN/m<sup>3</sup></td></tr> <tr><th colspan="3">Pierre Souche</th></tr> <tr><td>m</td><td>2,892</td><td></td></tr> <tr><td>w</td><td>0,133</td><td></td></tr> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;">ABACOS DE SOUCHE</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>15</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">2.4. Definir CORROSÃO</th></tr> <tr><td>CORROSÃO</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Tempo de vida útil</td><td>50 anos</td></tr> <tr><td><math>F_{u,t}</math></td><td>0,5</td></tr> <tr><td>Perda de espessura do tubo corrosão</td><td>0,0003 m</td></tr> </table>	2.1. Informações do Calda de cimento			Módulo de Elasticidade	28	Gpa	Momento de Inércia	3,24E-04	m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	9067,91	kNm <sup>2</sup>	Área de Concreto seção interna	0,0638	m <sup>2</sup>	$f_{ck}$ (MPa)	25	MPa	$\gamma_c$	1,5		$f_{cd}$ (MPa)	16,67	MPa	2.2. Informações do aço da Armadura Tubular			Diâmetro exterior	0,298	m	Espessura	0,0065	m	Módulo de Elasticidade	210	Gpa	Diâmetro interior	0,2850	m	Momento de Inércia	6,33E-05	m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	13283,85	kNm <sup>2</sup>	Área de aço	5,95E-03	m <sup>2</sup>	$E_s$	595	MPa	$\gamma_s$	1,00		$E_{st}$	595,00	MPa	2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO			Euler e Pierre Souche			Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>	Pierre Souche			m	2,892		w	0,133		ABACOS DE SOUCHE					15	2.4. Definir CORROSÃO		CORROSÃO	<input type="checkbox"/>	Tempo de vida útil	50 anos	$F_{u,t}$	0,5	Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003 m	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="4">3.1. Informações do Solo</th></tr> <tr><th colspan="4">PROFUNDIDADES DE SOLO</th></tr> <tr><td>Zona Geotécnica</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)</td><td>5,1</td><td>8,0</td><td>10,4</td><td>15,0</td></tr> <tr><td>Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)</td><td>0</td><td>2,9</td><td>2,4</td><td>4,6</td></tr> <tr><th colspan="4">VALORES DOS ENSAIOS</th></tr> <tr><td>NFDM médio</td><td>0</td><td>22</td><td>37</td><td>55</td></tr> <tr><td>N<sub>NET</sub></td><td>0</td><td>21</td><td>35</td><td>52</td></tr> <tr><th colspan="4">TIPOS DE SOLO</th></tr> <tr><td>Libre</td><td colspan="3">Comprimento livre da microestaca</td></tr> <tr><td>ZG4</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td>ZG3</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td>ZG2</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td>ZG1</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td colspan="4">Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias</td></tr> <tr><th colspan="4">PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA</th></tr> <tr><td><math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</td><td>0</td><td>19</td><td>20</td><td>20</td></tr> <tr><td><math>c'</math> (kPa)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td><math>\phi'</math> (°)</td><td>27,10</td><td>33,15</td><td>37,00</td><td>41,33</td></tr> <tr><th colspan="4">OUTROS PARÂMETROS</th></tr> <tr><td>OCR</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>E (MPa)</td><td>0</td><td>92,49</td><td>140,20</td><td>192,52</td></tr> <tr><td><math>\rho_{lim}</math> (MPa)</td><td>0</td><td>1,05</td><td>1,76</td><td>2,62</td></tr> <tr><td><math>E_{m}</math> (MPa)</td><td>0</td><td>8,70</td><td>15,49</td><td>23,63</td></tr> <tr><td><math>\alpha_c</math></td><td>#####</td><td>0,33</td><td>0,33</td><td>0,33</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">3.2. Definir a injeção da calda e outros parâmetros</th></tr> <tr><td>TIPO</td><td>IGU</td></tr> <tr><td>Pressão da injeção</td><td>0,50 MPa</td></tr> <tr><td>Condição estrutural</td><td>Nova estrutura</td></tr> <tr><td>Fator de influência (solo-estrutura) que minora o <math>\phi</math></td><td>1</td></tr> </table>	3.1. Informações do Solo				PROFUNDIDADES DE SOLO				Zona Geotécnica	4	3	2	1	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	15,0	Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)	0	2,9	2,4	4,6	VALORES DOS ENSAIOS				NFDM médio	0	22	37	55	N <sub>NET</sub>	0	21	35	52	TIPOS DE SOLO				Libre	Comprimento livre da microestaca			ZG4	Areia			ZG3	Areia			ZG2	Areia			ZG1	Areia			Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias				PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA				$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20	$c'$ (kPa)	0	0	0	0	$\phi'$ (°)	27,10	33,15	37,00	41,33	OUTROS PARÂMETROS				OCR	1	1	1	1	E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52	$\rho_{lim}$ (MPa)	0	1,05	1,76	2,62	$E_{m}$ (MPa)	0	8,70	15,49	23,63	$\alpha_c$	#####	0,33	0,33	0,33	3.2. Definir a injeção da calda e outros parâmetros		TIPO	IGU	Pressão da injeção	0,50 MPa	Condição estrutural	Nova estrutura	Fator de influência (solo-estrutura) que minora o $\phi$	1	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>FATOR DE SEGURANÇA</th><th>ESTADO LIMITE</th></tr> <tr><td>FS carga crítica</td><td>1,00 <math>\gamma_{ul}</math> - carga</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>FS tensão no aço</td><td>1,00 <math>\gamma_{ms}</math> - atrito</td><td>1,25</td></tr> <tr><td>FS seção da raiz</td><td>2,00 <math>\gamma_{ms}</math> - coesão</td><td>1,25</td></tr> <tr><td></td><td><math>\gamma_{ts}</math> - raiz total</td><td>1,50</td></tr> <tr><td></td><td><math>\gamma_{ts}</math> - raiz ponta</td><td>1,60</td></tr> <tr><td></td><td><math>\gamma_{ls}</math> - raiz lateral</td><td>1,30</td></tr> <tr><td></td><td><math>\gamma_{sa}</math> - aço</td><td>1,00</td></tr> <tr><td></td><td><math>\gamma_{sc}</math> - calda</td><td>1,50</td></tr> </table>	FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE	FS carga crítica	1,00 $\gamma_{ul}$ - carga	1,00	FS tensão no aço	1,00 $\gamma_{ms}$ - atrito	1,25	FS seção da raiz	2,00 $\gamma_{ms}$ - coesão	1,25		$\gamma_{ts}$ - raiz total	1,50		$\gamma_{ts}$ - raiz ponta	1,60		$\gamma_{ls}$ - raiz lateral	1,30		$\gamma_{sa}$ - aço	1,00		$\gamma_{sc}$ - calda	1,50
Diâmetro de Perforação	0,300	m																																																																																																																																																																																																																																																																																
Diâmetro efetivo*	0,154	m																																																																																																																																																																																																																																																																																
Comprimento cabeça*	2,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																
Comprimento livre	2,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																
Comprimento raiz	13,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																
Considerar ZG4 como referência	NÃO																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Comprimento efetivo*	8,50	m																																																																																																																																																																																																																																																																																
Comprimento TOTAL	15,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																
Rigidez a flexão raiz	#####	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																
Rigidez a flexão seção interna	#####	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																
2.1. Informações do Calda de cimento																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Módulo de Elasticidade	28	Gpa																																																																																																																																																																																																																																																																																
Momento de Inércia	3,24E-04	m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																
Rigidez a flexão	9067,91	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																
Área de Concreto seção interna	0,0638	m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																
$f_{ck}$ (MPa)	25	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																
$\gamma_c$	1,5																																																																																																																																																																																																																																																																																	
$f_{cd}$ (MPa)	16,67	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																
2.2. Informações do aço da Armadura Tubular																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Diâmetro exterior	0,298	m																																																																																																																																																																																																																																																																																
Espessura	0,0065	m																																																																																																																																																																																																																																																																																
Módulo de Elasticidade	210	Gpa																																																																																																																																																																																																																																																																																
Diâmetro interior	0,2850	m																																																																																																																																																																																																																																																																																
Momento de Inércia	6,33E-05	m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																
Rigidez a flexão	13283,85	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																
Área de aço	5,95E-03	m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																
$E_s$	595	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																
$\gamma_s$	1,00																																																																																																																																																																																																																																																																																	
$E_{st}$	595,00	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																
2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Euler e Pierre Souche																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																
Pierre Souche																																																																																																																																																																																																																																																																																		
m	2,892																																																																																																																																																																																																																																																																																	
w	0,133																																																																																																																																																																																																																																																																																	
ABACOS DE SOUCHE																																																																																																																																																																																																																																																																																		
		15																																																																																																																																																																																																																																																																																
2.4. Definir CORROSÃO																																																																																																																																																																																																																																																																																		
CORROSÃO	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Tempo de vida útil	50 anos																																																																																																																																																																																																																																																																																	
$F_{u,t}$	0,5																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003 m																																																																																																																																																																																																																																																																																	
3.1. Informações do Solo																																																																																																																																																																																																																																																																																		
PROFUNDIDADES DE SOLO																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Zona Geotécnica	4	3	2	1																																																																																																																																																																																																																																																																														
Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	15,0																																																																																																																																																																																																																																																																														
Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)	0	2,9	2,4	4,6																																																																																																																																																																																																																																																																														
VALORES DOS ENSAIOS																																																																																																																																																																																																																																																																																		
NFDM médio	0	22	37	55																																																																																																																																																																																																																																																																														
N <sub>NET</sub>	0	21	35	52																																																																																																																																																																																																																																																																														
TIPOS DE SOLO																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Libre	Comprimento livre da microestaca																																																																																																																																																																																																																																																																																	
ZG4	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																	
ZG3	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																	
ZG2	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																	
ZG1	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias																																																																																																																																																																																																																																																																																		
PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA																																																																																																																																																																																																																																																																																		
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20																																																																																																																																																																																																																																																																														
$c'$ (kPa)	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																														
$\phi'$ (°)	27,10	33,15	37,00	41,33																																																																																																																																																																																																																																																																														
OUTROS PARÂMETROS																																																																																																																																																																																																																																																																																		
OCR	1	1	1	1																																																																																																																																																																																																																																																																														
E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52																																																																																																																																																																																																																																																																														
$\rho_{lim}$ (MPa)	0	1,05	1,76	2,62																																																																																																																																																																																																																																																																														
$E_{m}$ (MPa)	0	8,70	15,49	23,63																																																																																																																																																																																																																																																																														
$\alpha_c$	#####	0,33	0,33	0,33																																																																																																																																																																																																																																																																														
3.2. Definir a injeção da calda e outros parâmetros																																																																																																																																																																																																																																																																																		
TIPO	IGU																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Pressão da injeção	0,50 MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Condição estrutural	Nova estrutura																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Fator de influência (solo-estrutura) que minora o $\phi$	1																																																																																																																																																																																																																																																																																	
FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE																																																																																																																																																																																																																																																																																	
FS carga crítica	1,00 $\gamma_{ul}$ - carga	1,00																																																																																																																																																																																																																																																																																
FS tensão no aço	1,00 $\gamma_{ms}$ - atrito	1,25																																																																																																																																																																																																																																																																																
FS seção da raiz	2,00 $\gamma_{ms}$ - coesão	1,25																																																																																																																																																																																																																																																																																
	$\gamma_{ts}$ - raiz total	1,50																																																																																																																																																																																																																																																																																
	$\gamma_{ts}$ - raiz ponta	1,60																																																																																																																																																																																																																																																																																
	$\gamma_{ls}$ - raiz lateral	1,30																																																																																																																																																																																																																																																																																
	$\gamma_{sa}$ - aço	1,00																																																																																																																																																																																																																																																																																
	$\gamma_{sc}$ - calda	1,50																																																																																																																																																																																																																																																																																

Figura 96 - Informações paramétricas - 1º Caso - Diâmetro tubular = 298,0 mm.

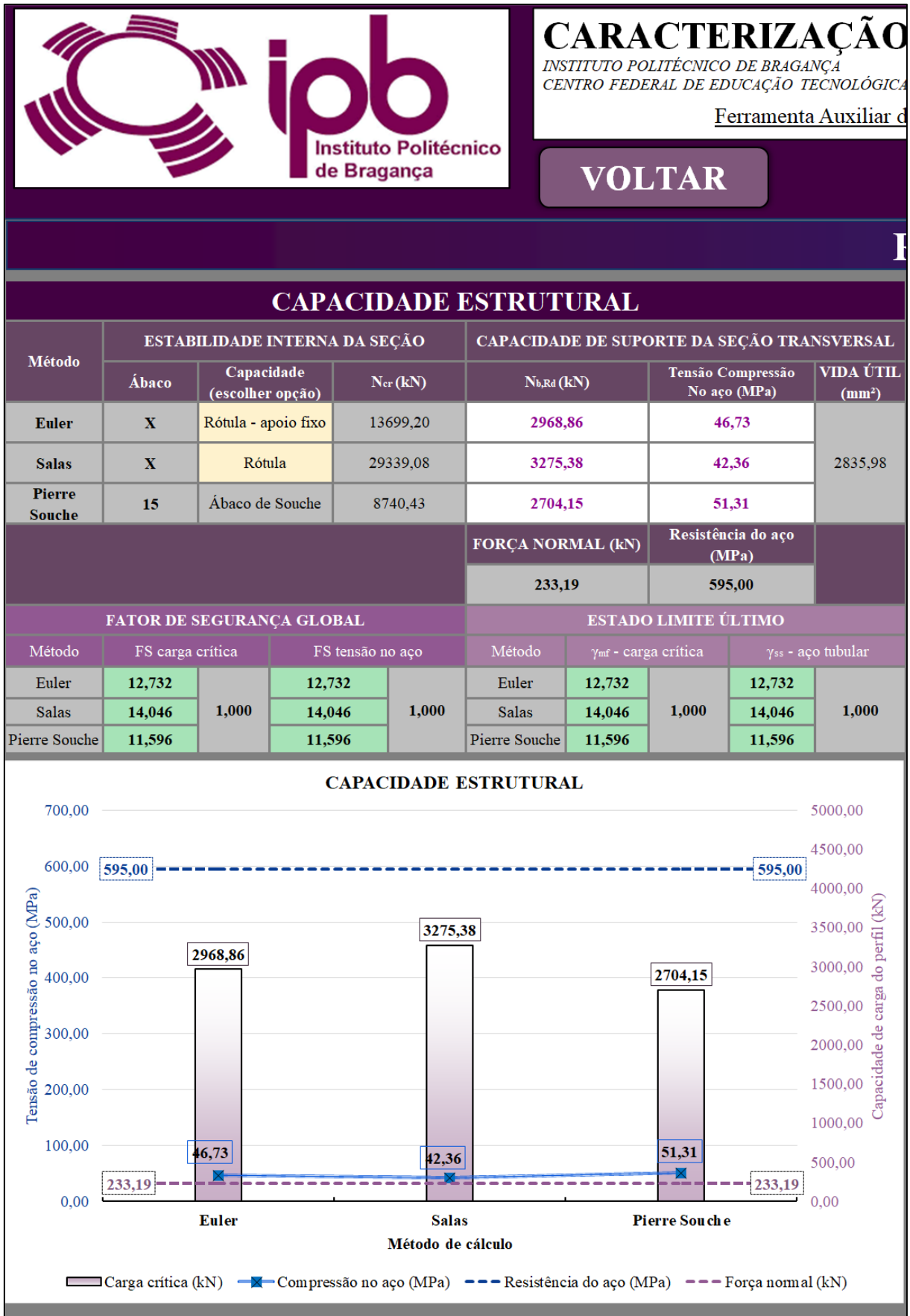



Figura 97 - Resultados - 1º Caso - Diâmetro tubular = 298,0 mm.

## APÊNDICE A.2 – 2º CASO – ESPESSURA TUBULAR



**ipb**  
Instituto Politécnico  
de Bragança

**CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA**  
INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
 CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

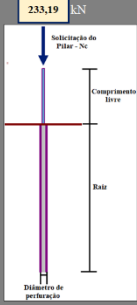
1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Diâmetro de Perfuração</td><td>0,160</td><td>m</td></tr> <tr><td>Diâmetro efetivo*</td><td>0,154</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento cabeça*</td><td>2,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento livre</td><td>2,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento raiz</td><td>13,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Considerar ZG4 como referência</td><td>NÃO</td><td></td></tr> <tr><td>Comprimento efetivo*</td><td>8,50</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento TOTAL</td><td>15,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão raiz</td><td>1036,83</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão seção interna</td><td>221,92</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> </table> <p><b>Diâmetro efetivo</b> Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.</p> <p><b>Comprimento cabeça</b> Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.</p> <p><b>Comprimento efetivo</b> L<sub>efetivo</sub> = L<sub>livre</sub> + L<sub>raiz</sub></p>	Diâmetro de Perfuração	0,160	m	Diâmetro efetivo*	0,154	m	Comprimento cabeça*	2,00	m	Comprimento livre	2,00	m	Comprimento raiz	13,00	m	Considerar ZG4 como referência	NÃO		Comprimento efetivo*	8,50	m	Comprimento TOTAL	15,00	m	Rigidez a flexão raiz	1036,83	kNm <sup>2</sup>	Rigidez a flexão seção interna	221,92	kNm <sup>2</sup>	 <p>233,19 kN</p> <p>Sobrecarga do Pilão - NC</p> <p>Comprimento livre</p> <p>Raiz</p> <p>Diâmetro de perfuração</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="3">2.1. Informações do Calda de cimento</th></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>28</td><td>Gpa</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>2,32E-06</td><td>m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>64,92</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de Concreto seção interna</td><td>0,0054</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>f<sub>ck</sub> (MPa)</td><td>25</td><td>MPa</td></tr> <tr><td>γ<sub>c</sub></td><td>1,5</td><td></td></tr> <tr><td>f<sub>cd</sub> (MPa)</td><td>16,67</td><td>MPa</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="3">2.2. Informações do aço da Armadura Tubular</th></tr> <tr><td>Diâmetro exterior</td><td>0,0889</td><td>m</td></tr> <tr><td>Espessura</td><td>0,003</td><td>m</td></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>210</td><td>Gpa</td></tr> <tr><td>Diâmetro interior</td><td>0,0829</td><td>m</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>7,48E-07</td><td>m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>157,00</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de aço</td><td>8,10E-04</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>f<sub>yk</sub></td><td>595</td><td>MPa</td></tr> <tr><td>γ<sub>s</sub></td><td>1,00</td><td></td></tr> <tr><td>f<sub>sd</sub></td><td>595,00</td><td>MPa</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="3">2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO</th></tr> <tr><th colspan="3">Euler e Pierre Souche</th></tr> <tr><td>Rigidez da mola Winkler</td><td>6</td><td>MN/m<sup>3</sup></td></tr> <tr><th colspan="3">Pierre Souche</th></tr> <tr><td>m</td><td>6,482</td><td></td></tr> <tr><td>w</td><td>0,133</td><td></td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="3">2.4. Definir CORROSÃO</th></tr> <tr><td>CORROSÃO</td><td><input type="checkbox"/></td><td></td></tr> <tr><td>Tempo de vida útil</td><td>50</td><td>anos</td></tr> <tr><td>F<sub>vd</sub></td><td>0,5</td><td></td></tr> <tr><td>Perda de espessura do tubo corrosão</td><td>0,0003</td><td>m</td></tr> </table>	2.1. Informações do Calda de cimento			Módulo de Elasticidade	28	Gpa	Momento de Inércia	2,32E-06	m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	64,92	kNm <sup>2</sup>	Área de Concreto seção interna	0,0054	m <sup>2</sup>	f <sub>ck</sub> (MPa)	25	MPa	γ <sub>c</sub>	1,5		f <sub>cd</sub> (MPa)	16,67	MPa	2.2. Informações do aço da Armadura Tubular			Diâmetro exterior	0,0889	m	Espessura	0,003	m	Módulo de Elasticidade	210	Gpa	Diâmetro interior	0,0829	m	Momento de Inércia	7,48E-07	m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	157,00	kNm <sup>2</sup>	Área de aço	8,10E-04	m <sup>2</sup>	f <sub>yk</sub>	595	MPa	γ <sub>s</sub>	1,00		f <sub>sd</sub>	595,00	MPa	2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO			Euler e Pierre Souche			Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>	Pierre Souche			m	6,482		w	0,133		2.4. Definir CORROSÃO			CORROSÃO	<input type="checkbox"/>		Tempo de vida útil	50	anos	F <sub>vd</sub>	0,5		Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003	m	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="5">3.1. Informações do Solo</th></tr> <tr><th colspan="5">PROFUNDIDADES DE SOLO</th></tr> <tr><td>Zona Geotécnica</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)</td><td>5,1</td><td>8,0</td><td>10,4</td><td>15,0</td></tr> <tr><td>Altura (m) (CAMADA DO SOLO)</td><td>0</td><td>2,9</td><td>2,4</td><td>4,6</td></tr> <tr><th colspan="5">VALORES DOS ENSAIOS</th></tr> <tr><td>N<sub>PTM</sub> (kN/m<sup>2</sup>)</td><td>0</td><td>22</td><td>37</td><td>55</td></tr> <tr><td>N<sub>PTT</sub></td><td>0</td><td>21</td><td>35</td><td>52</td></tr> <tr><th colspan="5">TIPOS DE SOLO</th></tr> <tr><td>Libre</td><td></td><td></td><td></td><td>Comprimento livre da microestaca</td></tr> <tr><td>ZG4</td><td></td><td></td><td></td><td>Areia</td></tr> <tr><td>ZG3</td><td></td><td></td><td></td><td>Areia</td></tr> <tr><td>ZG2</td><td></td><td></td><td></td><td>Areia</td></tr> <tr><td>ZG1</td><td></td><td></td><td></td><td>Areia</td></tr> <tr><td colspan="5">Classificação global do solo LIZZI Solos rígidos, cascalhos e areias</td></tr> <tr><th colspan="5">PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA</th></tr> <tr><td>γ (kN/m<sup>3</sup>)</td><td>0</td><td>19</td><td>20</td><td>20</td></tr> <tr><td>c' (kPa)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>φ' (°)</td><td>27,10</td><td>33,15</td><td>37,00</td><td>41,33</td></tr> <tr><th colspan="5">OUTROS PARÂMETROS</th></tr> <tr><td>OCR</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>E (MPa)</td><td>0</td><td>92,49</td><td>140,20</td><td>192,52</td></tr> <tr><td>p<sub>lim</sub> (MPa)</td><td>0</td><td>1,05</td><td>1,76</td><td>2,62</td></tr> <tr><td>E<sub>s</sub> (MPa)</td><td>0</td><td>8,70</td><td>15,49</td><td>23,63</td></tr> <tr><td>α<sub>s</sub></td><td>#####</td><td>0,33</td><td>0,33</td><td>0,33</td></tr> <tr><th colspan="5">3.2. Defina a injeção da calda e outros parâmetros</th></tr> <tr><td>TIPO</td><td></td><td></td><td></td><td>IGU</td></tr> <tr><td>Pressão da injeção</td><td>0,50</td><td></td><td></td><td>MPa</td></tr> <tr><td>Condição estrutural</td><td></td><td></td><td></td><td>Nova estrutura</td></tr> <tr><td>Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td></tr> </table>	3.1. Informações do Solo					PROFUNDIDADES DE SOLO					Zona Geotécnica	4	3	2	1	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	15,0	Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0	2,9	2,4	4,6	VALORES DOS ENSAIOS					N <sub>PTM</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	0	22	37	55	N <sub>PTT</sub>	0	21	35	52	TIPOS DE SOLO					Libre				Comprimento livre da microestaca	ZG4				Areia	ZG3				Areia	ZG2				Areia	ZG1				Areia	Classificação global do solo LIZZI Solos rígidos, cascalhos e areias					PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA					γ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20	c' (kPa)	0	0	0	0	φ' (°)	27,10	33,15	37,00	41,33	OUTROS PARÂMETROS					OCR	1	1	1	1	E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52	p <sub>lim</sub> (MPa)	0	1,05	1,76	2,62	E <sub>s</sub> (MPa)	0	8,70	15,49	23,63	α <sub>s</sub>	#####	0,33	0,33	0,33	3.2. Defina a injeção da calda e outros parâmetros					TIPO				IGU	Pressão da injeção	0,50			MPa	Condição estrutural				Nova estrutura	Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ				1	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">FATOR DE SEGURANÇA</th><th colspan="2">ESTADO LIMITE</th></tr> <tr><td>FS carga crítica</td><td>1,00</td><td>γ<sub>sd</sub> - carga</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>FS injeção de aço</td><td>1,00</td><td>γ<sub>sd</sub> - atrito</td><td>1,25</td></tr> <tr><td>FS seção da raiz</td><td>2,00</td><td>γ<sub>sd</sub> - coesão</td><td>1,25</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>γ<sub>sd</sub> - raiz total</td><td>1,50</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>γ<sub>sd</sub> - raiz ponta</td><td>1,60</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>γ<sub>sd</sub> - raiz lateral</td><td>1,30</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>γ<sub>sd</sub> - aço</td><td>1,00</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>γ<sub>sd</sub> - calda</td><td>1,50</td></tr> </table>	FATOR DE SEGURANÇA		ESTADO LIMITE		FS carga crítica	1,00	γ <sub>sd</sub> - carga	1,00	FS injeção de aço	1,00	γ <sub>sd</sub> - atrito	1,25	FS seção da raiz	2,00	γ <sub>sd</sub> - coesão	1,25			γ <sub>sd</sub> - raiz total	1,50			γ <sub>sd</sub> - raiz ponta	1,60			γ <sub>sd</sub> - raiz lateral	1,30			γ <sub>sd</sub> - aço	1,00			γ <sub>sd</sub> - calda	1,50
Diâmetro de Perfuração	0,160	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Diâmetro efetivo*	0,154	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Comprimento cabeça*	2,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Comprimento livre	2,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Comprimento raiz	13,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Considerar ZG4 como referência	NÃO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Comprimento efetivo*	8,50	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Comprimento TOTAL	15,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Rigidez a flexão raiz	1036,83	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Rigidez a flexão seção interna	221,92	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
2.1. Informações do Calda de cimento																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Módulo de Elasticidade	28	Gpa																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Momento de Inércia	2,32E-06	m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Rigidez a flexão	64,92	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Área de Concreto seção interna	0,0054	m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
f <sub>ck</sub> (MPa)	25	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
γ <sub>c</sub>	1,5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
f <sub>cd</sub> (MPa)	16,67	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
2.2. Informações do aço da Armadura Tubular																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Diâmetro exterior	0,0889	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Espessura	0,003	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Módulo de Elasticidade	210	Gpa																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Diâmetro interior	0,0829	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Momento de Inércia	7,48E-07	m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Rigidez a flexão	157,00	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Área de aço	8,10E-04	m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
f <sub>yk</sub>	595	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
γ <sub>s</sub>	1,00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
f <sub>sd</sub>	595,00	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Euler e Pierre Souche																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Pierre Souche																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
m	6,482																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
w	0,133																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
2.4. Definir CORROSÃO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
CORROSÃO	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Tempo de vida útil	50	anos																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
F <sub>vd</sub>	0,5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
3.1. Informações do Solo																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
PROFUNDIDADES DE SOLO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Zona Geotécnica	4	3	2	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	15,0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0	2,9	2,4	4,6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
VALORES DOS ENSAIOS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
N <sub>PTM</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	0	22	37	55																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
N <sub>PTT</sub>	0	21	35	52																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
TIPOS DE SOLO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Libre				Comprimento livre da microestaca																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
ZG4				Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
ZG3				Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
ZG2				Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
ZG1				Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Classificação global do solo LIZZI Solos rígidos, cascalhos e areias																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
γ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
c' (kPa)	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
φ' (°)	27,10	33,15	37,00	41,33																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
OUTROS PARÂMETROS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
OCR	1	1	1	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
p <sub>lim</sub> (MPa)	0	1,05	1,76	2,62																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
E <sub>s</sub> (MPa)	0	8,70	15,49	23,63																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
α <sub>s</sub>	#####	0,33	0,33	0,33																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
3.2. Defina a injeção da calda e outros parâmetros																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
TIPO				IGU																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Pressão da injeção	0,50			MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Condição estrutural				Nova estrutura																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ				1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
FATOR DE SEGURANÇA		ESTADO LIMITE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
FS carga crítica	1,00	γ <sub>sd</sub> - carga	1,00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
FS injeção de aço	1,00	γ <sub>sd</sub> - atrito	1,25																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
FS seção da raiz	2,00	γ <sub>sd</sub> - coesão	1,25																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
		γ <sub>sd</sub> - raiz total	1,50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
		γ <sub>sd</sub> - raiz ponta	1,60																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
		γ <sub>sd</sub> - raiz lateral	1,30																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
		γ <sub>sd</sub> - aço	1,00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
		γ <sub>sd</sub> - calda	1,50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			

Figura 98 - Informações paramétricas - 2º Caso - Espessura tubular = 3,0 mm.

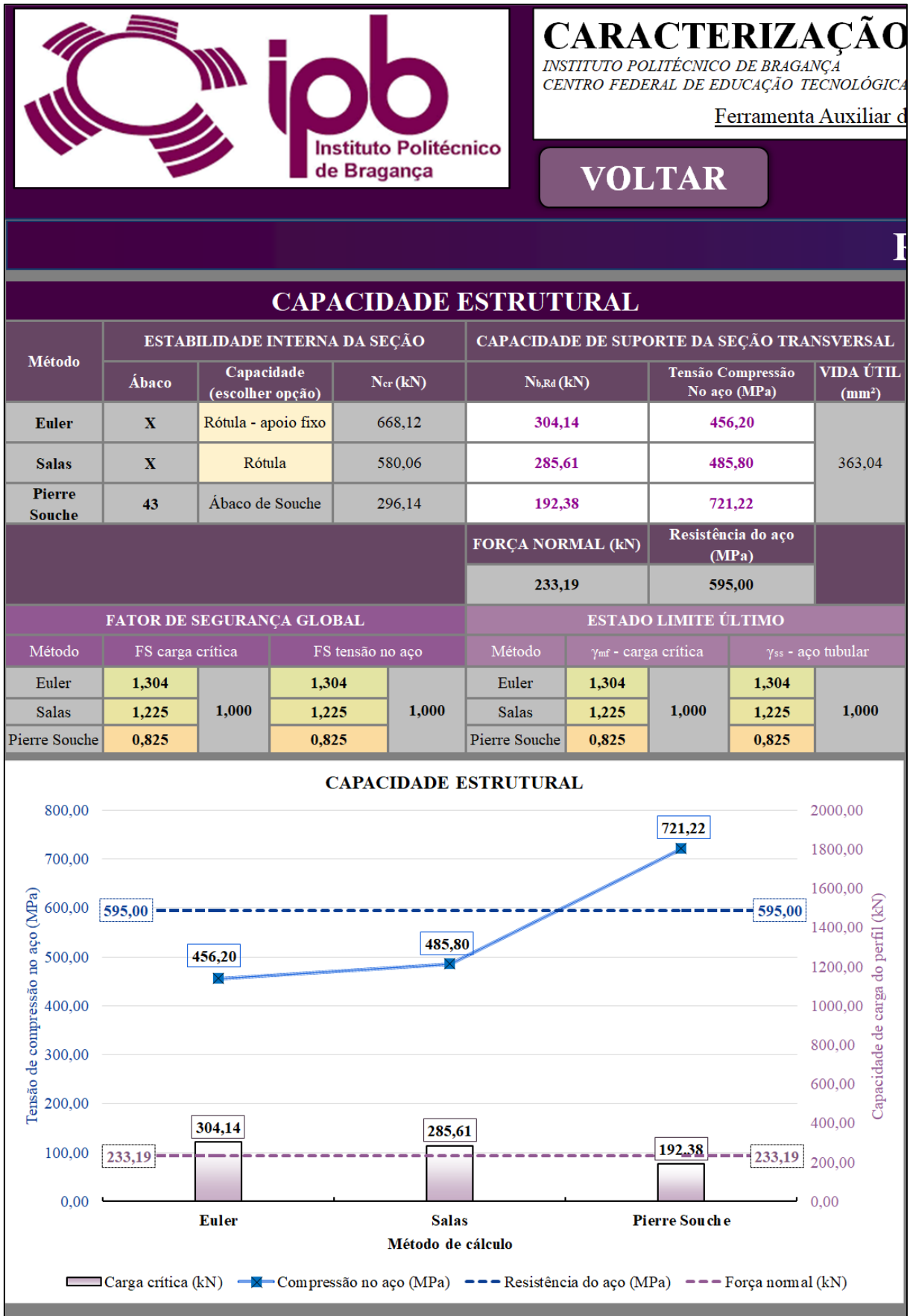



Figura 99 - Resultados - 2º Caso - Espessura tubular = 3,0 mm.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA	
Diâmetro de Perfuração	0,160 m	2.1. Informações do <b>Calda de cimento</b>		3.1. Informações do <b>Solo</b>		FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE
Diâmetro efetivo*	0,154 m	Módulo de Elasticidade	28 GPa	3.1.1. <b>PROFUNDIDADES DE SOLO</b>		FS carga crítica	1,00
Comprimento cabeça*	2,00 m	Momento de Inércia	1,63E-06 m <sup>4</sup>	Zona Geotécnica		FS tensão no aço	1,00
Comprimento livre	2,00 m	Rigidez a flexão	45,61 kNm <sup>2</sup>	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)		FS seção de tração	2,00
Comprimento raiz	13,00 m	Área de Concreto seção interna	0,0045 m <sup>2</sup>	Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)			
Considerar ZG4 como referência	NÃO	f <sub>cd</sub> (MPa)	25 MPa	VALORES DOS ENSAIOS			
Comprimento efetivo*	8,50 m	γ <sub>c</sub>	1,5	NFDM solo			
Comprimento TOTAL	15,00 m	f <sub>td</sub> (MPa)	16,67 MPa	N <sub>opt</sub>			
Rigidez a flexão raiz	1162,29 kNm <sup>2</sup>	2.2. Informações do <b>aço da Armadura Tubular</b>		TIPOS DE SOLO			
Rigidez a flexão seção interna	347,38 kNm <sup>2</sup>	Diâmetro exterior	0,0889 m	Libre			
Diâmetro efetivo	Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.	Espessura	0,0065 m	ZG4			
Comprimento cabeça	Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.	Módulo de Elasticidade	210 GPa	ZG3			
Comprimento efetivo	L <sub>efetivo</sub> = L <sub>livre</sub> + L <sub>raiz</sub>	Diâmetro interior	0,0759 m	ZG2			
		Momento de Inércia	1,44E-06 m <sup>4</sup>	ZG1			
		Rigidez a flexão	301,76 kNm <sup>2</sup>	Classificação global do solo LIZZI			
		Área de aço	1,68E-03 m <sup>2</sup>	Solos rígidos, cascalhos e areias			
		E <sub>s</sub>	595 MPa	PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA			
		γ <sub>s</sub>	1,00	γ (kN/m <sup>3</sup> )		0	19
		E <sub>s2</sub>	595,00 MPa	c' (kPa)		0	0
				φ' (°)		27,10	33,15
				OUTROS PARÂMETROS			
				OCR		1	1
				E (MPa)		0	92,49
				p <sub>lim</sub> (MPa)		0	1,05
				E <sub>m</sub> (MPa)		0	8,70
				α <sub>s</sub>		#####	0,33
				3.2. Definir a <b>injeção da calda</b> e outros parâmetros			
				TIPO		IGU	
				Pressão da injeção		0,50 MPa	
				Condição estrutural		Nova estrutura	
				Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ		1	
				2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO			
				Euler e Pierre Souche			
				Rigidez da mola Winkler		6	MN/m <sup>3</sup>
				Pierre Souche			
				m		5,505	
				w		0,133	
				ABACOS DE SOUCHE		41	
				2.4. Definir <b>CORROSÃO</b>			
				CORROSÃO		<input type="checkbox"/>	
				Tempo de vida útil		50	anos
				F <sub>u,t</sub>		0,5	
				Perda de espessura do tubo corrosão		0,0003	m

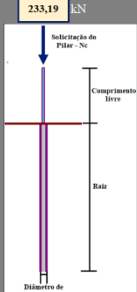


Figura 100 - Informações paramétricas - 2º Caso - Espessura tubular = 6,5 mm.

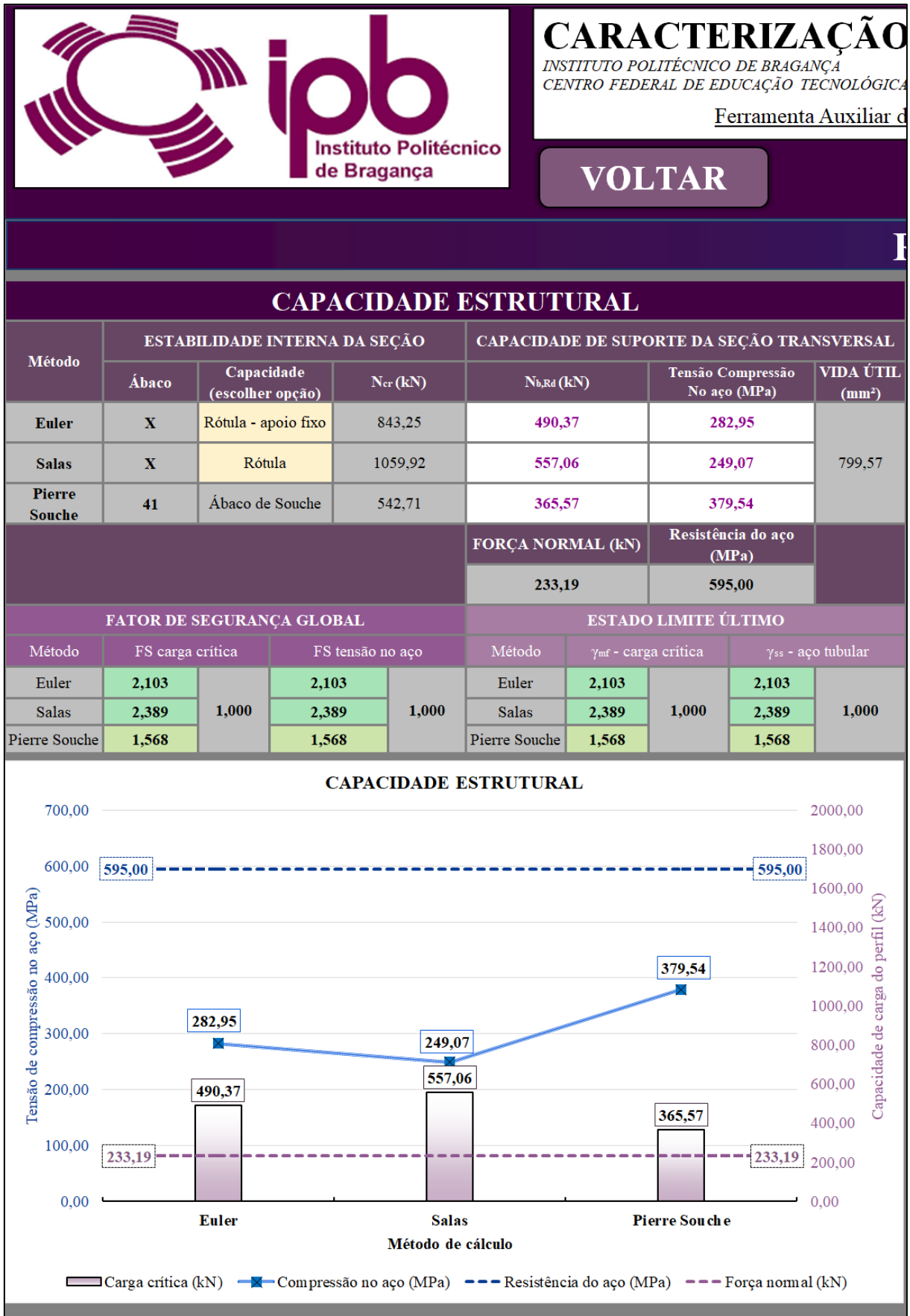



Figura 101 - Resultados - 2º Caso - Espessura tubular = 6,5 mm.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR

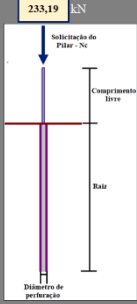
RESULTADO

---

### 1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA

Diâmetro de Perforação	0,160	m
Diâmetro efetivo*	0,154	m
Comprimento cabeça*	2,00	m
Comprimento livre	2,00	m
Comprimento raiz	13,00	m
Considerar ZG4 como referência	<b>NÃO</b>	
Comprimento efetivo*	8,50	m
Comprimento TOTAL	15,00	m
Rigidez a flexão raiz	1192,32	kNm <sup>2</sup>
Rigidez a flexão seção interna	377,42	kNm <sup>2</sup>

Diâmetro efetivo: Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.  
Comprimento cabeça: Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.  
Comprimento efetivo:  $L_{efetivo} = L_{livre} + L_{raiz}$



233,19 kN

Solicitação do Pilar - Nc

Comprimento livre

Raiz

Diâmetro de perfuração

### 2. CAPACIDADE ESTRUTURAL

#### 2.1. Informações do **Calda de cimento**

Módulo de Elasticidade	28	Gpa
Momento de Inércia	1,46E-06	m <sup>4</sup>
Rigidez a flexão	40,99	kNm <sup>2</sup>
Área de Concreto seção interna	0,0043	m <sup>2</sup>
$f_{ck}$ (MPa)	25	MPa
$\gamma_c$	1,5	
$f_{cd}$ (MPa)	16,67	MPa

#### 2.2. Informações do **aco da Armadura Tubular**

Diâmetro exterior	0,0889	m
Espessura	0,0075	m
Módulo de Elasticidade	210	Gpa
Diâmetro interior	0,0739	m
Momento de Inércia	1,60E-06	m <sup>4</sup>
Rigidez a flexão	336,42	kNm <sup>2</sup>
Área de aço	1,92E-03	m <sup>2</sup>
$E_s$	595	MPa
$\gamma_s$	1,00	
$E_{st}$	595,00	MPa

#### 2.3. Parâmetros individuais de cada **MÉTODO**

##### Euler e Pierre Souche

Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>
-------------------------	---	-------------------

##### Pierre Souche

m	5,358
w	0,133

**ABACOS DE SOUCHE** 41

#### 2.4. Definir **CORROSÃO**

CORROSÃO	<input type="checkbox"/>	
Tempo de vida útil	50	anos
$F_{u,t}$	0,5	
Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003	m

### 3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA

#### 3.1. Informações do **Solo**

PROFUNDIDADES DE SOLO				
Zona Geotécnica	4	3	2	1
Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	15,0
Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0	2,9	2,4	4,6

#### VALORES DOS ENSAIOS

NFDM médio	0	22	37	55
N <sub>NET</sub>	0	21	35	52

#### TIPOS DE SOLO

Libre	Comprimento livre da microestaca
ZG4	Areia
ZG3	Areia
ZG2	Areia
ZG1	Areia

Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias

#### PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA

$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20
$c'$ (kPa)	0	0	0	0
$\phi'$ (°)	27,10	33,15	37,00	41,33

#### OUTROS PARÂMETROS

OCR	1	1	1	1
E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52
$\rho_{lim}$ (MPa)	0	1,05	1,76	2,62
$E_{sm}$ (MPa)	0	8,70	15,49	23,63
$\alpha_c$	#####	0,33	0,33	0,33

#### 3.2. Definir a **injeção da calda** e outros parâmetros

TIPO	IGU	
Pressão da injeção	0,50	MPa
Condição estrutural	Nova estrutura	
Fator de influência (solo-estrutura) que minora o $\phi$	1	

### 4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA

FATOR DE SEGURANÇA		ESTADO LIMITE	
FS carga crítica	1,00	$\gamma_{af}$ - carga	1,00
FS tensão no aço	1,00	$\gamma_{as}$ - atrito	1,25
FS seção da raiz	2,00	$\gamma_{ac}$ - coesão	1,25
		$\gamma_{at}$ - raiz total	1,50
		$\gamma_{ap}$ - raiz ponta	1,60
		$\gamma_{al}$ - raiz lateral	1,30
		$\gamma_{aa}$ - aço	1,00
		$\gamma_{ac}$ - calda	1,50

Figura 102 - Informações paramétricas - 2º Caso - Espessura tubular = 7,5 mm.

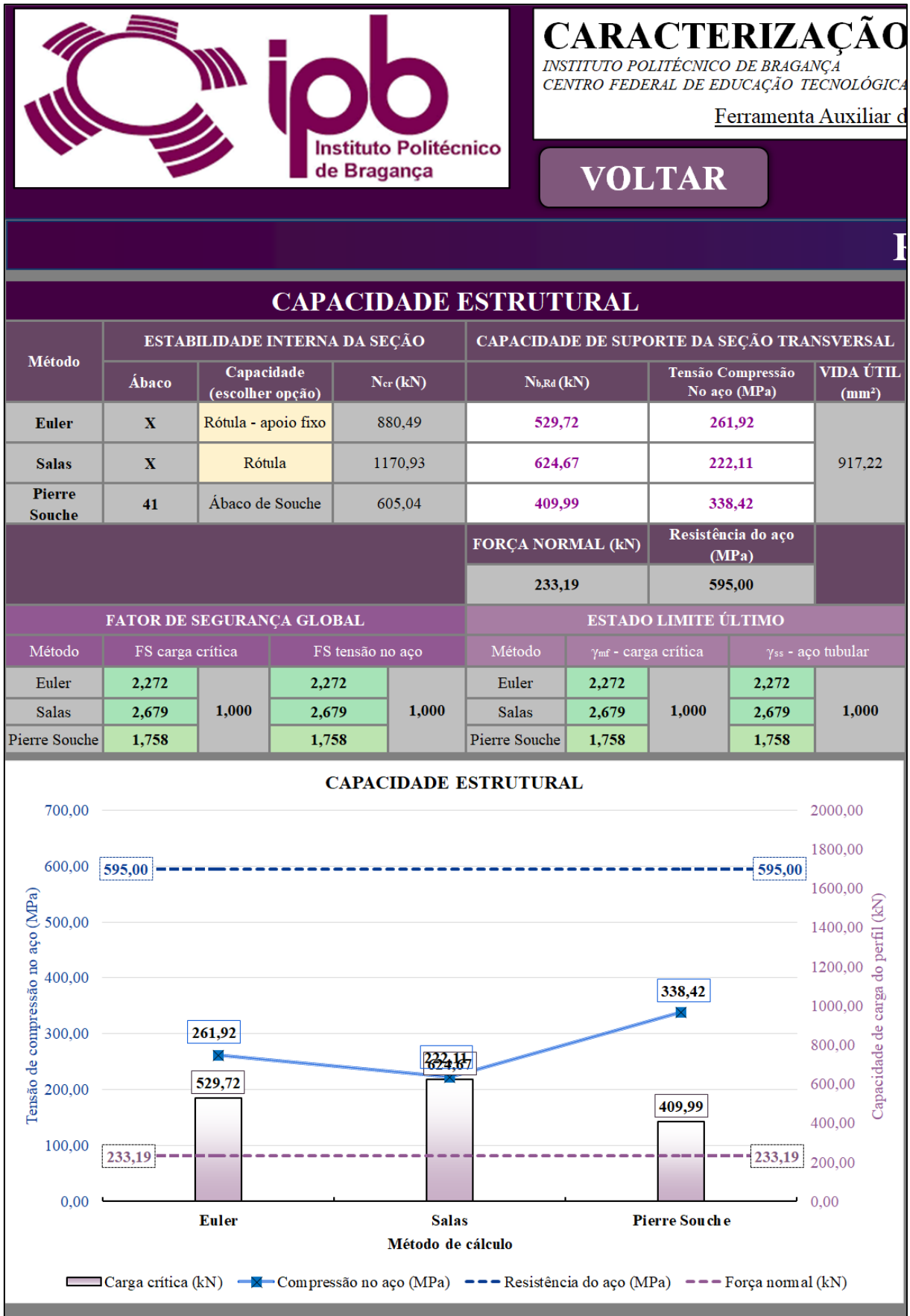



Figura 103 - Resultados - 2º Caso - Espessura tubular = 7,5 mm.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA	
Diâmetro de Perforação	0,160 m	2.1. Informações do <b>Calda de cimento</b>		3.1. Informações do <b>Solo</b>		FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE
Diâmetro efetivo*	0,154 m	Módulo de Elasticidade	28 GPa	3.1.1. <b>PROFUNDIDADES DE SOLO</b>		FS carga crítica	1,00
Comprimento cabeça*	2,00 m	Momento de Inércia	1,31E-06 m <sup>4</sup>	Zona Geotécnica		FS tensão no aço	1,00
Comprimento raiz	2,00 m	Rigidez a flexão	36,73 kNm <sup>2</sup>	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)		FS seção de raiz	2,00
Comprimento livre	13,00 m	Área de Concreto seção interna	0,0041 m <sup>2</sup>	Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)			
Considerar ZG4 como referência	NÃO	f <sub>cd</sub> (MPa)	25 MPa	VALORES DOS ENSAIOS			
Comprimento efetivo*	8,50 m	γ <sub>c</sub>	1,5	NFDM solo			
Comprimento TOTAL	15,00 m	f <sub>td</sub> (MPa)	16,67 MPa	NFT			
Rigidez a flexão raiz	1220,02 kNm <sup>2</sup>	2.2. Informações do <b> aço da Armadura Tubular</b>		TIPOS DE SOLO			
Rigidez a flexão seção interna	405,11 kNm <sup>2</sup>	Diâmetro exterior	0,0889 m	Livre			
Diâmetro efetivo	Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.	Espessura	0,0085 m	ZG4			
Comprimento cabeça	Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.	Módulo de Elasticidade	210 GPa	ZG3			
Comprimento efetivo	L <sub>efetivo</sub> = L <sub>livre</sub> + L <sub>raiz</sub>	Diâmetro interior	0,0719 m	ZG2			
		Momento de Inércia	1,75E-06 m <sup>4</sup>	ZG1			
		Rigidez a flexão	368,38 kNm <sup>2</sup>	Classificação global do solo LIZZI			
		Área de aço	2,15E-03 m <sup>2</sup>	Solos rígidos, cascalhos e areias			
		E <sub>s</sub>	595 MPa	PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA			
		γ <sub>s</sub>	1,00	γ (kN/m <sup>3</sup> )			
		E <sub>s2</sub>	595,00 MPa	c' (kPa)			
				φ' (°)			
				OUTROS PARÂMETROS			
				OCR			
				E (MPa)			
				p <sub>lim</sub> (MPa)			
				E <sub>m</sub> (MPa)			
				α <sub>s</sub>			
				3.2. Definir a <b>injeção da calda</b> e outros parâmetros			
				TIPO			
				Pressão da injeção			
				Condição estrutural			
				Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ			
				2.3. Parâmetros individuais de cada <b>MÉTODO</b>			
				Euler e Pierre Souche			
				Rigidez da mola Winkler			
				Pierre Souche			
				m			
				w			
				ABACOS DE SOUCHE			
				41			
				2.4. Definir <b>CORROSÃO</b>			
				CORROSÃO			
				Tempo de vida útil			
				F <sub>u,t</sub>			
				Perda de espessura do tubo corrosão			

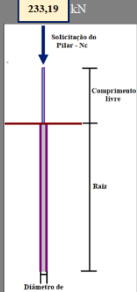


Figura 104 - Informações paramétricas - 2º Caso - Espessura tubular = 8,5 mm.

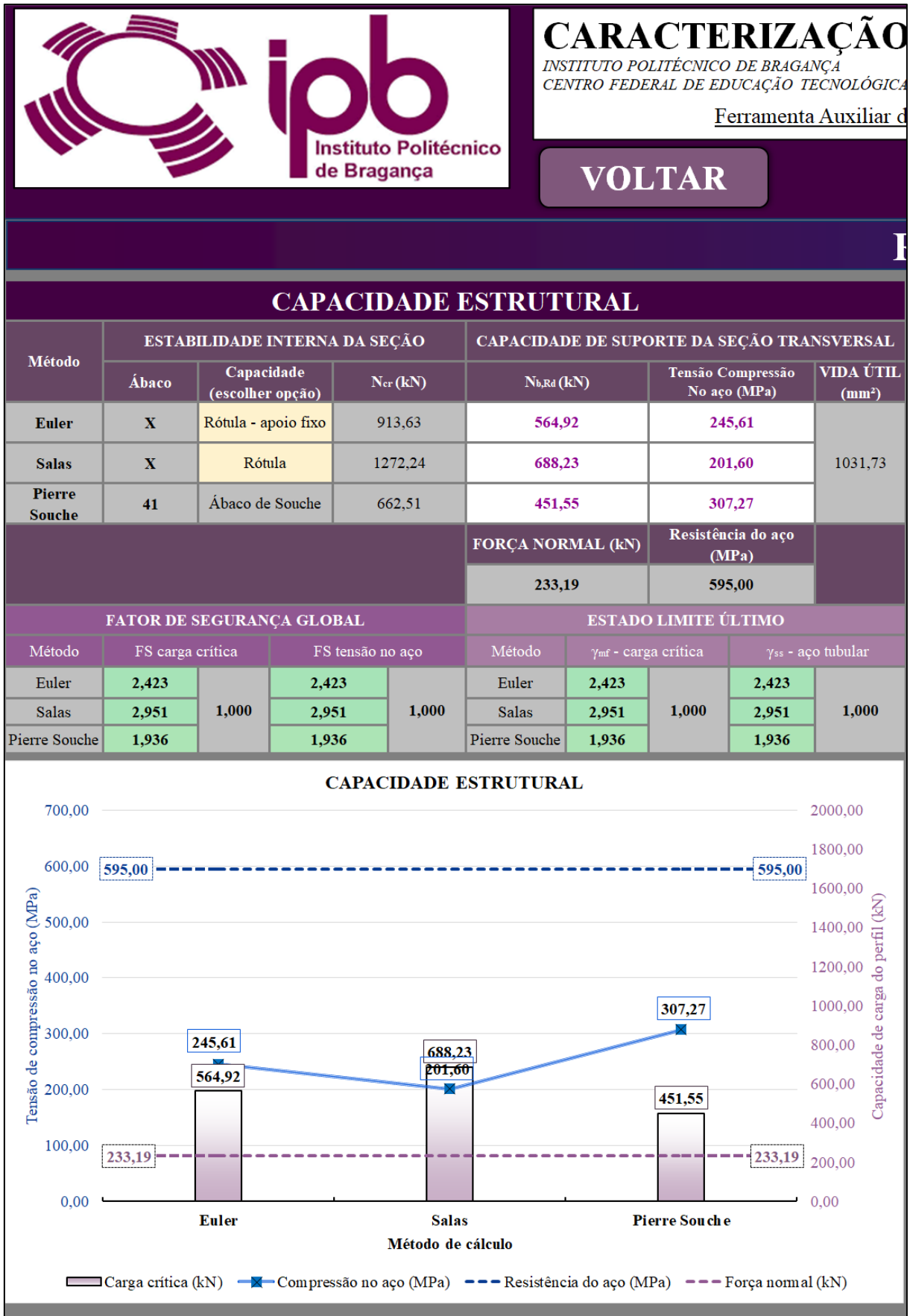



Figura 105 - Resultados - 2º Caso - Espessura tubular = 8,5 mm.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

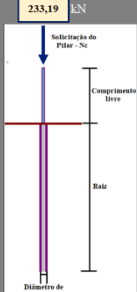
1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA	
Diâmetro de Perfuração	0,160 m	<b>2.1. Informações do Calda de cimento</b>		<b>3.1. Informações do Solo</b>		FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE
Diâmetro efetivo*	0,154 m	Módulo de Elasticidade	28 Gpa	<b>PROFUNDIDADES DE SOLO</b>		FS carga crítica	1,00
Comprimento cabeça*	2,00 m	Momento de Inércia	1,17E-06 m <sup>4</sup>	Zona Geotécnica	4 3 2 1	FS tensão no aço	1,00
Comprimento livre	2,00 m	Rigidez a flexão	32,81 kNm <sup>2</sup>	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1 8,0 10,4 15,0	FS seção de aço	2,00
Comprimento raiz	13,00 m	Área de Concreto seção interna	0,0038 m <sup>2</sup>	Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)	0 2,9 2,4 4,6		
Considerar ZG4 como referência	NÃO	f <sub>cd</sub> (MPa)	25 MPa	<b>VALORES DOS ENSAIOS</b>			
Comprimento efetivo*	8,50 m	γ <sub>c</sub>	1,5	NFDM médio	0 22 37 55		
Comprimento TOTAL	15,00 m	f <sub>td</sub> (MPa)	16,67 MPa	NFT	0 21 35 52		
Rigidez a flexão raiz	1245,50 kNm <sup>2</sup>	<b>2.2. Informações do aço da Armadura Tubular</b>		<b>TIPOS DE SOLO</b>			
Rigidez a flexão seção interna	430,59 kNm <sup>2</sup>	Diâmetro exterior	0,0889 m	Libre	Comprimento livre da microestaca		
Diâmetro efetivo: Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração. Comprimento cabeça: Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre. Comprimento efetivo: L <sub>efetivo</sub> = L <sub>livre</sub> + L <sub>raiz</sub>		Espessura	0,0095 m	ZG4	Areia		
		Módulo de Elasticidade	210 Gpa	ZG3	Areia		
		Diâmetro interior	0,0699 m	ZG2	Areia		
		Momento de Inércia	1,89E-06 m <sup>4</sup>	ZG1	Areia		
		Rigidez a flexão	397,77 kNm <sup>2</sup>	Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias			
		Área de aço	2,37E-03 m <sup>2</sup>	<b>PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA</b>			
		E <sub>s</sub>	595 MPa	γ (kN/m <sup>3</sup> )	0 19 20 20		
		γ <sub>s</sub>	1,00	c' (kPa)	0 0 0 0		
		E <sub>st</sub>	595,00 MPa	φ' (°)	27,10 33,15 37,00 41,33		
		<b>2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO</b>		<b>OUTROS PARÂMETROS</b>			
		Euler e Pierre Souche		OCR	1 1 1 1		
		Rigidez da mola Winkler	6 MN/m <sup>3</sup>	E (MPa)	0 92,49 140,20 192,52		
		Pierre Souche		p <sub>lim</sub> (MPa)	0 1,05 1,76 2,62		
		m	5,138	E <sub>m</sub> (MPa)	0 8,70 15,49 23,63		
		w	0,133	α <sub>c</sub>	##### 0,33 0,33 0,33		
		<b>2.4. Definir CORROSÃO</b>		<b>3.2. Definir a injeção da calda e outros parâmetros</b>			
		CORROSÃO	<input type="checkbox"/>	TIPO	IGU		
		Tempo de vida útil	50 anos	Pressão da injeção	0,50 MPa		
		F <sub>u,t</sub>	0,5	Condição estrutural	Nova estrutura		
		Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003 m	Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ	1		

Figura 106 - Informações paramétricas - 2º Caso - Espessura tubular = 9,5 mm.

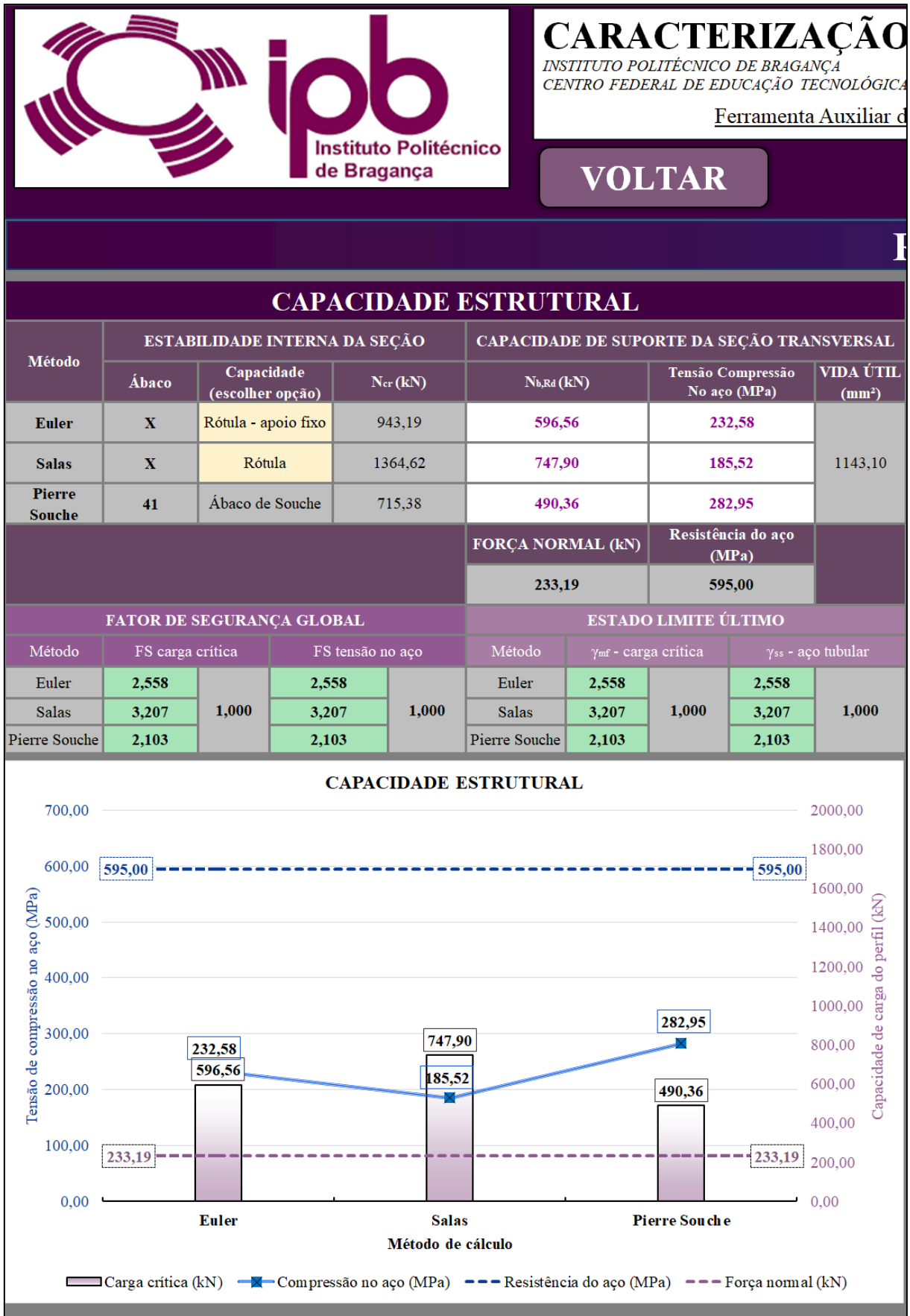



Figura 107 - Resultados - 2º Caso - Espessura tubular = 9,5 mm.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

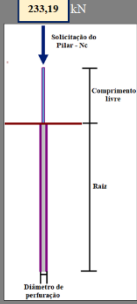
1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA	
Diâmetro de Perforação	0,160 m	<b>2.1. Informações do Calda de cimento</b>		<b>3.1. Informações do Solo</b>		FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE
Diâmetro efetivo*	0,154 m	Módulo de Elasticidade	28 GPa	<b>PROFUNDIDADES DE SOLO</b>		FS carga crítica	1,00
Comprimento cabeça*	2,00 m	Momento de Inércia	8,71E-07 m <sup>4</sup>	Zona Geotécnica	4 3 2 1	FS tensão no aço	1,00
Comprimento livre	2,00 m	Rigidez a flexão	24,38 kNm <sup>2</sup>	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1 8,0 10,4 15,0	FS seção de aço	2,00
Comprimento total	13,00 m	Área de Concreto seção interna	0,0033 m <sup>2</sup>	Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)	0 2,9 2,4 4,6		
Considerar ZG4 como referência	NÃO	f <sub>cd</sub> (MPa)	25 MPa	<b>VALORES DOS ENSAIOS</b>			
Comprimento efetivo*	8,50 m	γ <sub>c</sub>	1,5	NFDM médio	0 22 37 55		
Comprimento TOTAL	15,00 m	f <sub>td</sub> (MPa)	16,67 MPa	N <sub>NET</sub>	0 21 35 52		
Rigidez a flexão seção raiz	1300,28 kNm <sup>2</sup>	<b>2.2. Informações do aço da Armadura Tubular</b>		<b>TIPOS DE SOLO</b>			
Rigidez a flexão seção interna	485,37 kNm <sup>2</sup>	Diâmetro exterior	0,0889 m	Libre	Comprimento livre da microestaca		
Diâmetro efetivo: Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração. Comprimento cabeça: Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre. Comprimento efetivo: L <sub>efetivo</sub> = L <sub>livre</sub> + L <sub>cabeça</sub>		Espeçura	0,012 m	ZG4	Areia		
		Módulo de Elasticidade	210 GPa	ZG3	Areia		
		Diâmetro interior	0,0649 m	ZG2	Areia		
		Momento de Inércia	2,20E-06 m <sup>4</sup>	ZG1	Areia		
		Rigidez a flexão	460,99 kNm <sup>2</sup>	Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias			
		Área de aço	2,90E-03 m <sup>2</sup>	<b>PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA</b>			
		E <sub>s</sub>	595 MPa	γ (kN/m <sup>3</sup> )	0 19 20 20		
		γ <sub>s</sub>	1,00	c' (kPa)	0 0 0 0		
		E <sub>st</sub>	595,00 MPa	φ' (°)	27,10 33,15 37,00 41,33		
		<b>2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO</b>		<b>OUTROS PARÂMETROS</b>			
		Euler e Pierre Souche		OCR	1 1 1 1		
		Rigidez da mola Winkler	6 MN/m <sup>3</sup>	E (MPa)	0 92,49 140,20 192,52		
		Pierre Souche		p <sub>lim</sub> (MPa)	0 1,05 1,76 2,62		
		m	4,952	E <sub>m</sub> (MPa)	0 8,70 15,49 23,63		
		w	0,133	α <sub>c</sub>	##### 0,33 0,33 0,33		
		<b>2.4. Definir CORROSÃO</b>		<b>3.2. Definir a injeção da calda e outros parâmetros</b>			
		CORROSÃO	<input type="checkbox"/>	TIPO	IGU		
		Tempo de vida útil	50 anos	Pressão da injeção	0,50 MPa		
		F <sub>u,t</sub>	0,5	Condição estrutural	Nova estrutura		
		Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003 m	Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ	1		

Figura 108 - Informações paramétricas - 2º Caso - Espessura tubular = 12,0 mm.

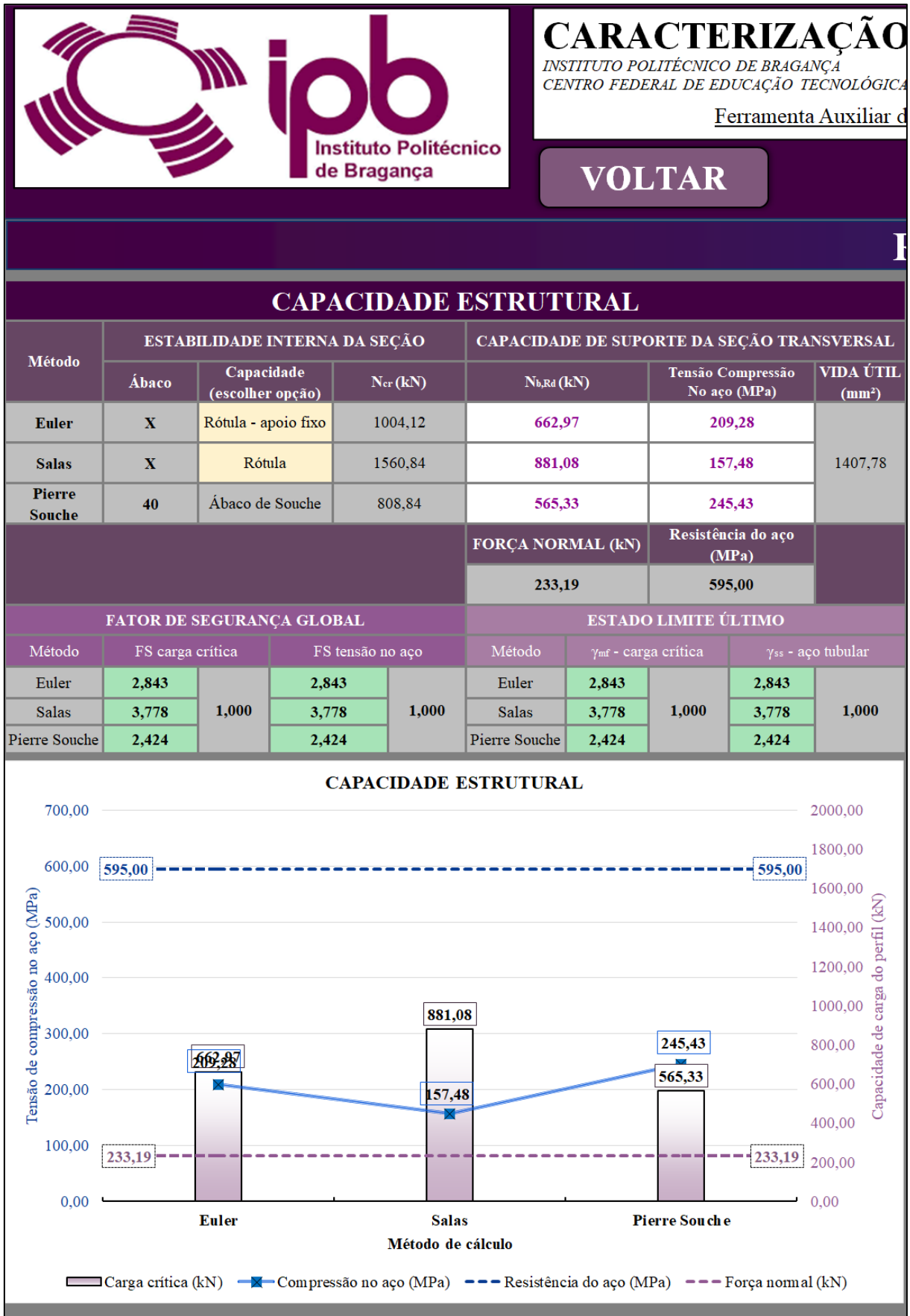



Figura 109 - Resultados - 2º Caso - Espessura tubular = 12,0 mm.

## APÊNDICE A.3 – 3º CASO – COMPRIMENTO LIVRE



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

**CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA**  
INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
 CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

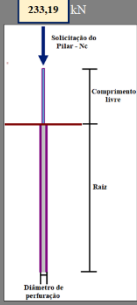
1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA																																																																																																																																																
Diâmetro de Perfuração	0,160 m	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;"> <p>233,19 kN</p>  </div> <div> <p>Substituição do Pilão - NC</p> <p>Comprimento livre</p> <p>Raiz</p> <p>Diâmetro de perfuração</p> </div> </div>		<p><b>2.1. Informações do Calda de cimento</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>28</td><td>Gpa</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>1,63E-06</td><td>m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>45,61</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de Concreto seção interna</td><td>0,0045</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>f<sub>ck</sub> (MPa)</td><td>25</td><td>MPa</td></tr> <tr><td>γ<sub>c</sub></td><td>1,5</td><td></td></tr> <tr><td>f<sub>cd</sub> (MPa)</td><td>16,67</td><td>MPa</td></tr> </table>		Módulo de Elasticidade	28	Gpa	Momento de Inércia	1,63E-06	m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	45,61	kNm <sup>2</sup>	Área de Concreto seção interna	0,0045	m <sup>2</sup>	f <sub>ck</sub> (MPa)	25	MPa	γ <sub>c</sub>	1,5		f <sub>cd</sub> (MPa)	16,67	MPa	<p><b>3.1. Informações do Solo</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="5">PROFUNDIDADES DE SOLO</th></tr> <tr><td>Zona Geotécnica</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)</td><td>5,1</td><td>8,0</td><td>10,4</td><td>20,0</td></tr> <tr><td>Altura (m) (CAMADA DO SOLO)</td><td>0</td><td>2,9</td><td>2,4</td><td>9,6</td></tr> <tr><th colspan="5">VALORES DOS ENSAIOS</th></tr> <tr><td>N<sub>PTM</sub> (kPa)</td><td>0</td><td>22</td><td>37</td><td>55</td></tr> <tr><td>N<sub>PTT</sub></td><td>0</td><td>21</td><td>35</td><td>52</td></tr> <tr><th colspan="5">TIPOS DE SOLO</th></tr> <tr><td></td><td>Libre</td><td colspan="3">Comprimento livre da microestaca</td></tr> <tr><td></td><td>ZG4</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td></td><td>ZG3</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td></td><td>ZG2</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td></td><td>ZG1</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td>Classificação global do solo LIZZI</td><td colspan="4">Solos rígidos, cascalhos e areias</td></tr> <tr><th colspan="5">PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA</th></tr> <tr><td>γ (kN/m<sup>3</sup>)</td><td>0</td><td>19</td><td>20</td><td>20</td></tr> <tr><td>c' (kPa)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>φ' (°)</td><td>27,10</td><td>33,15</td><td>37,00</td><td>41,33</td></tr> <tr><th colspan="5">OUTROS PARÂMETROS</th></tr> <tr><td>OCR</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>E (MPa)</td><td>0</td><td>92,49</td><td>140,20</td><td>192,52</td></tr> <tr><td>ρ<sub>lim</sub> (MPa)</td><td>0</td><td>1,05</td><td>1,76</td><td>2,62</td></tr> <tr><td>E<sub>s</sub> (MPa)</td><td>0</td><td>8,70</td><td>15,49</td><td>23,63</td></tr> <tr><td>α<sub>c</sub></td><td>#####</td><td>0,33</td><td>0,33</td><td>0,33</td></tr> </table>		PROFUNDIDADES DE SOLO					Zona Geotécnica	4	3	2	1	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	20,0	Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0	2,9	2,4	9,6	VALORES DOS ENSAIOS					N <sub>PTM</sub> (kPa)	0	22	37	55	N <sub>PTT</sub>	0	21	35	52	TIPOS DE SOLO						Libre	Comprimento livre da microestaca				ZG4	Areia				ZG3	Areia				ZG2	Areia				ZG1	Areia			Classificação global do solo LIZZI	Solos rígidos, cascalhos e areias				PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA					γ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20	c' (kPa)	0	0	0	0	φ' (°)	27,10	33,15	37,00	41,33	OUTROS PARÂMETROS					OCR	1	1	1	1	E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52	ρ <sub>lim</sub> (MPa)	0	1,05	1,76	2,62	E <sub>s</sub> (MPa)	0	8,70	15,49	23,63	α <sub>c</sub>	#####	0,33	0,33	0,33	FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE
Módulo de Elasticidade	28					Gpa																																																																																																																																																
Momento de Inércia	1,63E-06					m <sup>4</sup>																																																																																																																																																
Rigidez a flexão	45,61					kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																
Área de Concreto seção interna	0,0045					m <sup>2</sup>																																																																																																																																																
f <sub>ck</sub> (MPa)	25					MPa																																																																																																																																																
γ <sub>c</sub>	1,5																																																																																																																																																					
f <sub>cd</sub> (MPa)	16,67					MPa																																																																																																																																																
PROFUNDIDADES DE SOLO																																																																																																																																																						
Zona Geotécnica	4					3	2	1																																																																																																																																														
Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	20,0																																																																																																																																																		
Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0	2,9	2,4	9,6																																																																																																																																																		
VALORES DOS ENSAIOS																																																																																																																																																						
N <sub>PTM</sub> (kPa)	0	22	37	55																																																																																																																																																		
N <sub>PTT</sub>	0	21	35	52																																																																																																																																																		
TIPOS DE SOLO																																																																																																																																																						
	Libre	Comprimento livre da microestaca																																																																																																																																																				
	ZG4	Areia																																																																																																																																																				
	ZG3	Areia																																																																																																																																																				
	ZG2	Areia																																																																																																																																																				
	ZG1	Areia																																																																																																																																																				
Classificação global do solo LIZZI	Solos rígidos, cascalhos e areias																																																																																																																																																					
PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA																																																																																																																																																						
γ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20																																																																																																																																																		
c' (kPa)	0	0	0	0																																																																																																																																																		
φ' (°)	27,10	33,15	37,00	41,33																																																																																																																																																		
OUTROS PARÂMETROS																																																																																																																																																						
OCR	1	1	1	1																																																																																																																																																		
E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52																																																																																																																																																		
ρ <sub>lim</sub> (MPa)	0	1,05	1,76	2,62																																																																																																																																																		
E <sub>s</sub> (MPa)	0	8,70	15,49	23,63																																																																																																																																																		
α <sub>c</sub>	#####	0,33	0,33	0,33																																																																																																																																																		
Diâmetro efetivo*	0,154 m					FS carga crítica	1,00	γ <sub>ad</sub> - carga	1,00																																																																																																																																													
Comprimento cabeça*	1,00 m					FS Injeção de aço	1,00	γ <sub>ms</sub> - atrito	1,25																																																																																																																																													
Comprimento livre	1,00 m					FS seção da raiz	2,00	γ <sub>sc</sub> - coesão	1,25																																																																																																																																													
Comprimento raiz	13,00 m							γ <sub>t</sub> - raiz total	1,50																																																																																																																																													
Considerar ZG4 como referência	NÃO							γ <sub>b</sub> - raiz ponta	1,60																																																																																																																																													
Comprimento efetivo*	7,50 m							γ <sub>i</sub> - raiz lateral	1,30																																																																																																																																													
Comprimento TOTAL	14,00 m							γ <sub>sc</sub> - aço	1,00																																																																																																																																													
Rigidez a flexão raiz	1162,29 kNm <sup>2</sup>							γ <sub>sc</sub> - calda	1,50																																																																																																																																													
Rigidez a flexão seção interna	347,38 kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																					
Diâmetro efetivo	Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.																																																																																																																																																					
Comprimento cabeça	Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.																																																																																																																																																					
Comprimento efetivo	Leftivo = Livre + Raiz																																																																																																																																																					
<b>2.2. Informações do aço da Armadura Tubular</b>																																																																																																																																																						
Diâmetro exterior	0,0889 m																																																																																																																																																					
Espessura	0,0065 m																																																																																																																																																					
Módulo de Elasticidade	210 Gpa																																																																																																																																																					
Diâmetro interior	0,0759 m																																																																																																																																																					
Momento de Inércia	1,44E-06 m <sup>4</sup>																																																																																																																																																					
Rigidez a flexão	301,76 kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																					
Área de aço	1,68E-03 m <sup>2</sup>																																																																																																																																																					
f <sub>yk</sub>	595 MPa																																																																																																																																																					
γ <sub>s</sub>	1,00																																																																																																																																																					
f <sub>sd</sub>	595,00 MPa																																																																																																																																																					
<b>2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO</b>																																																																																																																																																						
<b>Euler e Pierre Souche</b>																																																																																																																																																						
Rigidez da mola Winkler	6 MN/m <sup>3</sup>																																																																																																																																																					
<b>Pierre Souche</b>																																																																																																																																																						
m	5,138																																																																																																																																																					
w	0,071																																																																																																																																																					
		<b>ÁBACOS DE SOUCHE</b>																																																																																																																																																				
<b>2.4. Definir CORROSÃO</b>																																																																																																																																																						
CORROSÃO	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																					
Tempo de vida útil	50 anos																																																																																																																																																					
F <sub>rd</sub>	0,5																																																																																																																																																					
Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003 m																																																																																																																																																					
<b>3.2. Defina a injeção da calda e outros parâmetros</b>																																																																																																																																																						
TIPO	IGU																																																																																																																																																					
Pressão da injeção	0,50 MPa																																																																																																																																																					
Condição estrutural	Nova estrutura																																																																																																																																																					
Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ	1																																																																																																																																																					

Figura 110 - Informações paramétricas - 3º Caso - Comprimento livre = 1,00 m.

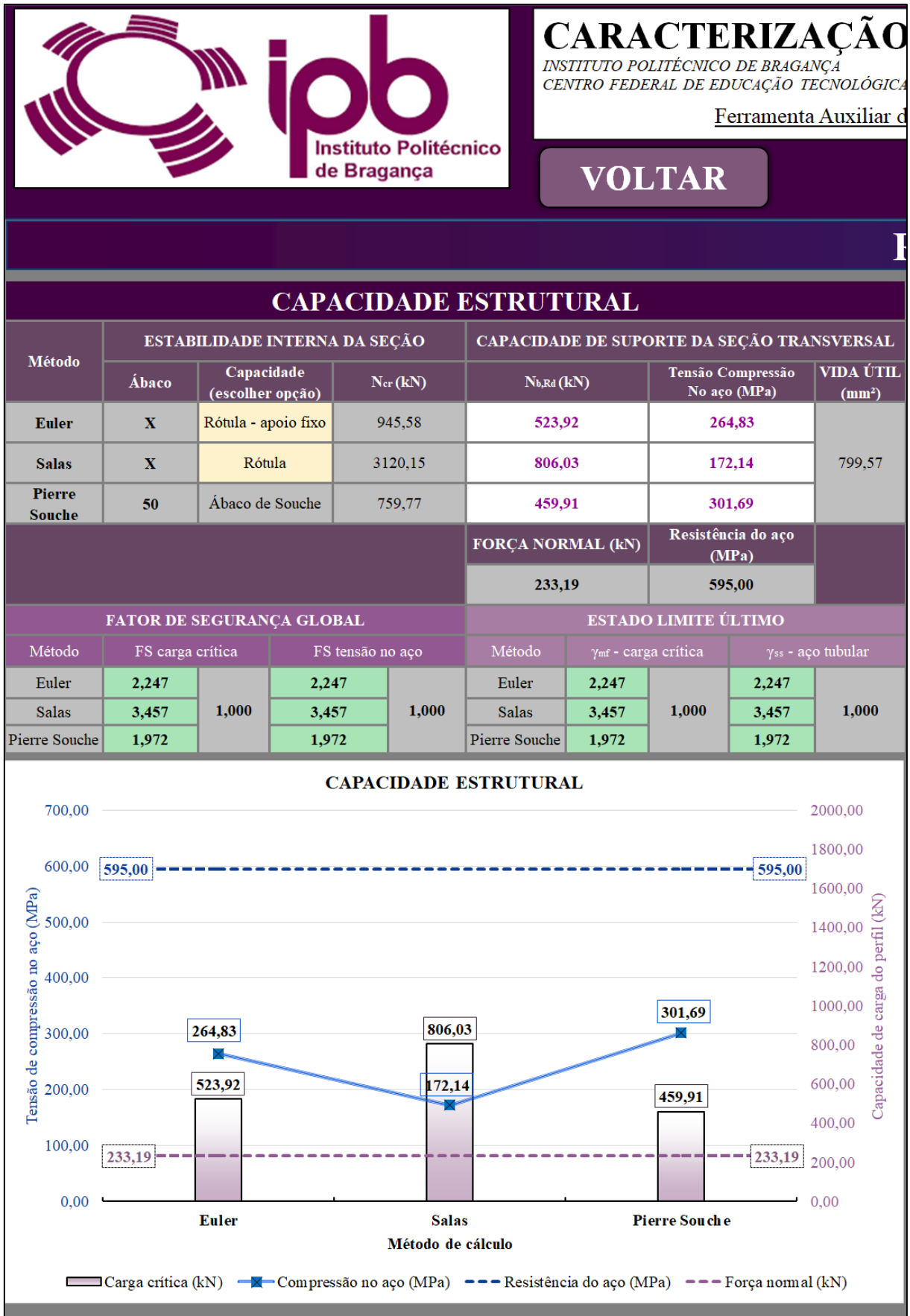



Figura 111 - Resultados - 3º Caso - Comprimento livre = 1,00 m.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA	
Diâmetro de Perfuração	0,160 m	<b>2.1. Informações do Calda de cimento</b>		<b>3.1. Informações do Solo</b>		FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE
Diâmetro efetivo*	0,154 m	Módulo de Elasticidade	28 Gpa	<b>PROFUNDIDADES DE SOLO</b>		FS carga crítica	1,00
Comprimento cabeça*	2,00 m	Momento de Inércia	1,63E-06 m <sup>4</sup>	Zona Geotécnica	4 3 2 1	FS tensão no aço	1,00
Comprimento livre	2,00 m	Rigidez a flexão	45,61 kNm <sup>2</sup>	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1 8,0 10,4 20,0	FS seção de aço	2,00
Comprimento raiz	13,00 m	Área de Concreto seção interna	0,0045 m <sup>2</sup>	Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)	0 2,9 2,4 9,6		
Considerar ZG4 como referência	NÃO	f <sub>cd</sub> (MPa)	25 MPa	<b>VALORES DOS ENSAIOS</b>			
Comprimento efetivo*	8,50 m	γc	1,5	NFDM solo	0 22 37 55		
Comprimento TOTAL	15,00 m	f <sub>td</sub> (MPa)	16,67 MPa	NFT	0 21 35 52		
Rigidez a flexão raiz	1162,29 kNm <sup>2</sup>	<b>2.2. Informações do aço da Armadura Tubular</b>		<b>TIPOS DE SOLO</b>			
Rigidez a flexão seção interna	347,38 kNm <sup>2</sup>	Diâmetro exterior	0,0889 m	Libre	Comprimento livre da microestaca		
Diâmetro efetivo	Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.	Espessura	0,0065 m	ZG4	Areia		
Comprimento cabeça	Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.	Módulo de Elasticidade	210 Gpa	ZG3	Areia		
Comprimento efetivo	L <sub>efetivo</sub> = L <sub>livre</sub> + L <sub>raiz</sub>	Diâmetro interior	0,0759 m	ZG2	Areia		
		Momento de Inércia	1,44E-06 m <sup>4</sup>	ZG1	Areia		
		Rigidez a flexão	301,76 kNm <sup>2</sup>	<b>PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA</b>			
		Área de aço	1,68E-03 m <sup>2</sup>	Classificação global do solo LIZZI	Solos rígidos, cascalhos e areias		
		E <sub>s</sub>	595 MPa	γ (kN/m <sup>3</sup> )	0 19 20 20		
		γ <sub>s</sub>	1,00	c' (kPa)	0 0 0 0		
		E <sub>st</sub>	595,00 MPa	φ' (°)	27,10 33,15 37,00 41,33		
		<b>2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO</b>		<b>OUTROS PARÂMETROS</b>			
		Euler e Pierre Souche		OCR	1 1 1 1		
		Rigidez da mola Winkler	6 MN/m <sup>3</sup>	E (MPa)	0 92,49 140,20 192,52		
		Pierre Souche		p <sub>lim</sub> (MPa)	0 1,05 1,76 2,62		
		m	5,505	E <sub>m</sub> (MPa)	0 8,70 15,49 23,63		
		w	0,133	α <sub>s</sub>	##### 0,33 0,33 0,33		
		<b>2.4. Definir CORROSÃO</b>		<b>3.2. Definir a injeção da calda e outros parâmetros</b>			
		CORROSÃO	<input type="checkbox"/>	TIPO	IGU		
		Tempo de vida útil	50 anos	Pressão da injeção	0,50 MPa		
		F <sub>u,t</sub>	0,5	Condição estrutural	Nova estrutura		
		Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003 m	Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ	1		

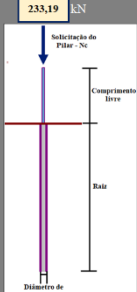


Figura 112 - Informações paramétricas - 3º Caso - Comprimento livre = 2,00 m.

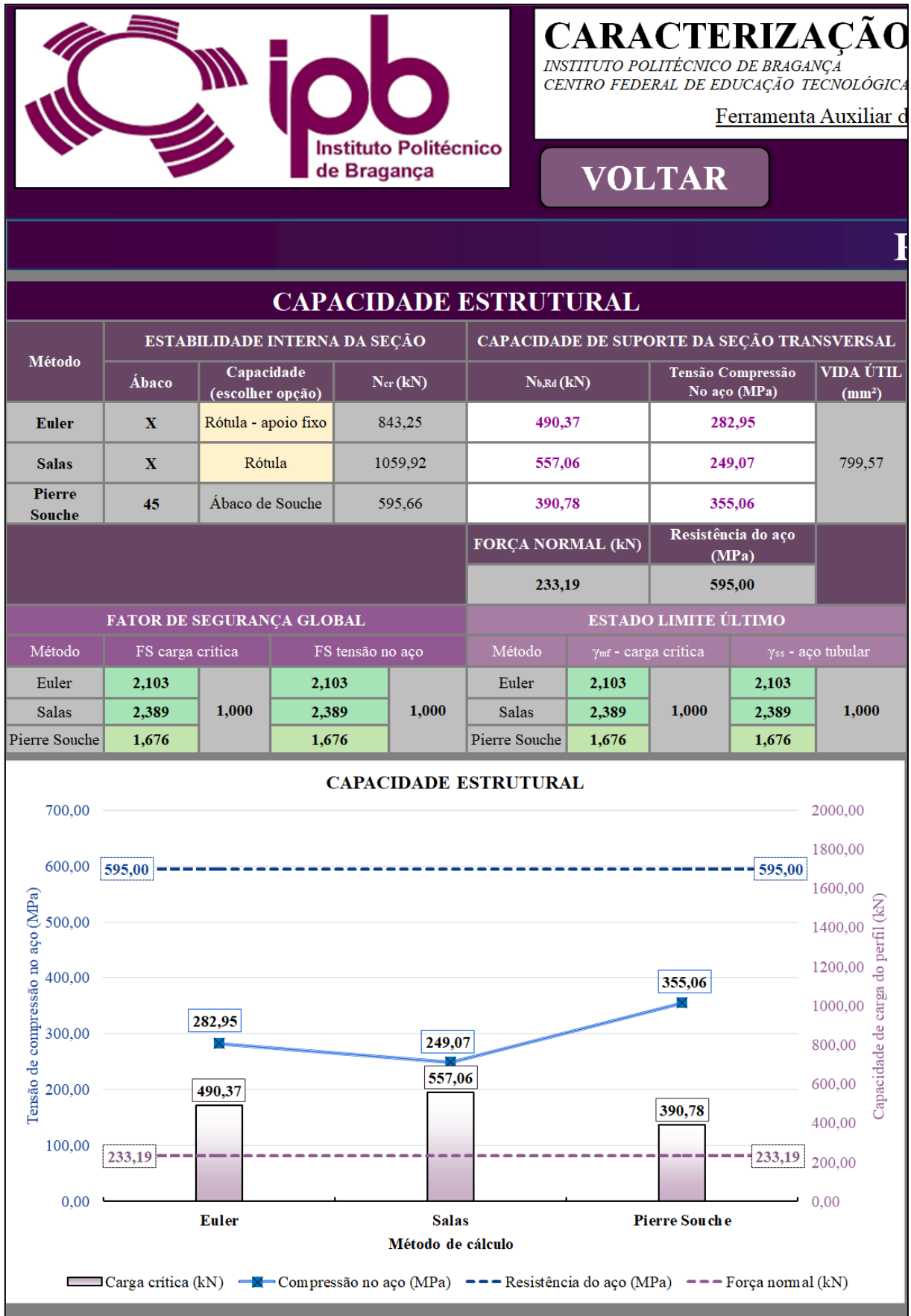



Figura 113 - Resultados - 3º Caso - Comprimento livre = 2,00 m.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

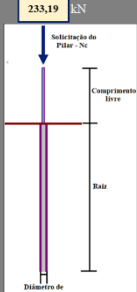
1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA																																																																																																																																																																																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Diâmetro de Perfuração</td><td>0,160</td><td>m</td></tr> <tr><td>Diâmetro efetivo*</td><td>0,154</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento cabeça*</td><td>3,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento livre</td><td>3,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento raiz</td><td>13,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Considerar ZG4 como referência</td><td>NÃO</td><td></td></tr> <tr><td>Comprimento efetivo*</td><td>9,50</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento TOTAL</td><td>16,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão raiz</td><td>1162,29</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão seção interna</td><td>347,38</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> </table>		Diâmetro de Perfuração	0,160	m	Diâmetro efetivo*	0,154	m	Comprimento cabeça*	3,00	m	Comprimento livre	3,00	m	Comprimento raiz	13,00	m	Considerar ZG4 como referência	NÃO		Comprimento efetivo*	9,50	m	Comprimento TOTAL	16,00	m	Rigidez a flexão raiz	1162,29	kNm <sup>2</sup>	Rigidez a flexão seção interna	347,38	kNm <sup>2</sup>	<div style="text-align: center;">  <p>233,19 kN</p> <p>Solicitação do Pilar - Nc</p> <p>Comprimento livre</p> <p>Raiz</p> <p>Diâmetro de perfuração</p> </div>		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="3">2.1. Informações do Calda de cimento</th></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>28</td><td>Gpa</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>1,63E-06</td><td>m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>45,61</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de Concreto seção interna</td><td>0,0045</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>f<sub>cd</sub> (MPa)</td><td>25</td><td>MPa</td></tr> <tr><td>γ<sub>c</sub></td><td>1,5</td><td></td></tr> <tr><td>f<sub>td</sub> (MPa)</td><td>16,67</td><td>MPa</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="3">2.2. Informações do aço da Armadura Tubular</th></tr> <tr><td>Diâmetro exterior</td><td>0,0889</td><td>m</td></tr> <tr><td>Espessura</td><td>0,0065</td><td>m</td></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>210</td><td>Gpa</td></tr> <tr><td>Diâmetro interior</td><td>0,0759</td><td>m</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>1,44E-06</td><td>m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>301,76</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de aço</td><td>1,68E-03</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>E<sub>s</sub></td><td>595</td><td>MPa</td></tr> <tr><td>γ<sub>s</sub></td><td>1,00</td><td></td></tr> <tr><td>E<sub>st</sub></td><td>595,00</td><td>MPa</td></tr> </table>		2.1. Informações do Calda de cimento			Módulo de Elasticidade	28	Gpa	Momento de Inércia	1,63E-06	m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	45,61	kNm <sup>2</sup>	Área de Concreto seção interna	0,0045	m <sup>2</sup>	f <sub>cd</sub> (MPa)	25	MPa	γ <sub>c</sub>	1,5		f <sub>td</sub> (MPa)	16,67	MPa	2.2. Informações do aço da Armadura Tubular			Diâmetro exterior	0,0889	m	Espessura	0,0065	m	Módulo de Elasticidade	210	Gpa	Diâmetro interior	0,0759	m	Momento de Inércia	1,44E-06	m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	301,76	kNm <sup>2</sup>	Área de aço	1,68E-03	m <sup>2</sup>	E <sub>s</sub>	595	MPa	γ <sub>s</sub>	1,00		E <sub>st</sub>	595,00	MPa	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="5">3.1. Informações do Solo</th></tr> <tr><th colspan="5">PROFUNDIDADES DE SOLO</th></tr> <tr><td>Zona Geotécnica</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)</td><td>5,1</td><td>8,0</td><td>10,4</td><td>20,0</td></tr> <tr><td>Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)</td><td>0</td><td>2,9</td><td>2,4</td><td>9,6</td></tr> <tr><th colspan="5">VALORES DOS ENSAIOS</th></tr> <tr><td>NFDM solo</td><td>0</td><td>22</td><td>37</td><td>55</td></tr> <tr><td>N<sub>NET</sub></td><td>0</td><td>21</td><td>35</td><td>52</td></tr> <tr><th colspan="5">TIPOS DE SOLO</th></tr> <tr><td>Libre</td><td colspan="4">Comprimento livre da microestaca</td></tr> <tr><td>ZG4</td><td colspan="4">Areia</td></tr> <tr><td>ZG3</td><td colspan="4">Areia</td></tr> <tr><td>ZG2</td><td colspan="4">Areia</td></tr> <tr><td>ZG1</td><td colspan="4">Areia</td></tr> <tr><td colspan="5">Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias</td></tr> <tr><th colspan="5">PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA</th></tr> <tr><td>γ (kN/m<sup>3</sup>)</td><td>0</td><td>19</td><td>20</td><td>20</td></tr> <tr><td>c' (kPa)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>φ' (°)</td><td>27,10</td><td>33,15</td><td>37,00</td><td>41,33</td></tr> <tr><th colspan="5">OUTROS PARÂMETROS</th></tr> <tr><td>OCR</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>E (MPa)</td><td>0</td><td>92,49</td><td>140,20</td><td>192,52</td></tr> <tr><td>p<sub>lim</sub> (MPa)</td><td>0</td><td>1,05</td><td>1,76</td><td>2,62</td></tr> <tr><td>E<sub>m</sub> (MPa)</td><td>0</td><td>8,70</td><td>15,49</td><td>23,63</td></tr> <tr><td>α<sub>c</sub></td><td>#####</td><td>0,33</td><td>0,33</td><td>0,33</td></tr> </table>		3.1. Informações do Solo					PROFUNDIDADES DE SOLO					Zona Geotécnica	4	3	2	1	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	20,0	Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)	0	2,9	2,4	9,6	VALORES DOS ENSAIOS					NFDM solo	0	22	37	55	N <sub>NET</sub>	0	21	35	52	TIPOS DE SOLO					Libre	Comprimento livre da microestaca				ZG4	Areia				ZG3	Areia				ZG2	Areia				ZG1	Areia				Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias					PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA					γ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20	c' (kPa)	0	0	0	0	φ' (°)	27,10	33,15	37,00	41,33	OUTROS PARÂMETROS					OCR	1	1	1	1	E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52	p <sub>lim</sub> (MPa)	0	1,05	1,76	2,62	E <sub>m</sub> (MPa)	0	8,70	15,49	23,63	α <sub>c</sub>	#####	0,33	0,33	0,33	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>FATOR DE SEGURANÇA</th><th>ESTADO LIMITE</th></tr> <tr><td>FS carga crítica</td><td>1,00 γ<sub>sd</sub> - carga</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>FS tensão no aço</td><td>1,00 γ<sub>sd</sub> - atrito</td><td>1,25</td></tr> <tr><td>FS seção da raiz</td><td>2,00 γ<sub>sd</sub> - coesão</td><td>1,25</td></tr> <tr><td></td><td>γ<sub>s</sub> - raiz total</td><td>1,50</td></tr> <tr><td></td><td>γ<sub>s</sub> - raiz ponta</td><td>1,60</td></tr> <tr><td></td><td>γ<sub>1</sub> - raiz lateral</td><td>1,30</td></tr> <tr><td></td><td>γ<sub>ss</sub> - aço</td><td>1,00</td></tr> <tr><td></td><td>γ<sub>sc</sub> - calda</td><td>1,50</td></tr> </table>		FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE	FS carga crítica	1,00 γ <sub>sd</sub> - carga	1,00	FS tensão no aço	1,00 γ <sub>sd</sub> - atrito	1,25	FS seção da raiz	2,00 γ <sub>sd</sub> - coesão	1,25		γ <sub>s</sub> - raiz total	1,50		γ <sub>s</sub> - raiz ponta	1,60		γ <sub>1</sub> - raiz lateral	1,30		γ <sub>ss</sub> - aço	1,00		γ <sub>sc</sub> - calda	1,50
Diâmetro de Perfuração	0,160	m																																																																																																																																																																																																																																																					
Diâmetro efetivo*	0,154	m																																																																																																																																																																																																																																																					
Comprimento cabeça*	3,00	m																																																																																																																																																																																																																																																					
Comprimento livre	3,00	m																																																																																																																																																																																																																																																					
Comprimento raiz	13,00	m																																																																																																																																																																																																																																																					
Considerar ZG4 como referência	NÃO																																																																																																																																																																																																																																																						
Comprimento efetivo*	9,50	m																																																																																																																																																																																																																																																					
Comprimento TOTAL	16,00	m																																																																																																																																																																																																																																																					
Rigidez a flexão raiz	1162,29	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																					
Rigidez a flexão seção interna	347,38	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																					
2.1. Informações do Calda de cimento																																																																																																																																																																																																																																																							
Módulo de Elasticidade	28	Gpa																																																																																																																																																																																																																																																					
Momento de Inércia	1,63E-06	m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																																					
Rigidez a flexão	45,61	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																					
Área de Concreto seção interna	0,0045	m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																					
f <sub>cd</sub> (MPa)	25	MPa																																																																																																																																																																																																																																																					
γ <sub>c</sub>	1,5																																																																																																																																																																																																																																																						
f <sub>td</sub> (MPa)	16,67	MPa																																																																																																																																																																																																																																																					
2.2. Informações do aço da Armadura Tubular																																																																																																																																																																																																																																																							
Diâmetro exterior	0,0889	m																																																																																																																																																																																																																																																					
Espessura	0,0065	m																																																																																																																																																																																																																																																					
Módulo de Elasticidade	210	Gpa																																																																																																																																																																																																																																																					
Diâmetro interior	0,0759	m																																																																																																																																																																																																																																																					
Momento de Inércia	1,44E-06	m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																																					
Rigidez a flexão	301,76	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																					
Área de aço	1,68E-03	m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																					
E <sub>s</sub>	595	MPa																																																																																																																																																																																																																																																					
γ <sub>s</sub>	1,00																																																																																																																																																																																																																																																						
E <sub>st</sub>	595,00	MPa																																																																																																																																																																																																																																																					
3.1. Informações do Solo																																																																																																																																																																																																																																																							
PROFUNDIDADES DE SOLO																																																																																																																																																																																																																																																							
Zona Geotécnica	4	3	2	1																																																																																																																																																																																																																																																			
Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	20,0																																																																																																																																																																																																																																																			
Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)	0	2,9	2,4	9,6																																																																																																																																																																																																																																																			
VALORES DOS ENSAIOS																																																																																																																																																																																																																																																							
NFDM solo	0	22	37	55																																																																																																																																																																																																																																																			
N <sub>NET</sub>	0	21	35	52																																																																																																																																																																																																																																																			
TIPOS DE SOLO																																																																																																																																																																																																																																																							
Libre	Comprimento livre da microestaca																																																																																																																																																																																																																																																						
ZG4	Areia																																																																																																																																																																																																																																																						
ZG3	Areia																																																																																																																																																																																																																																																						
ZG2	Areia																																																																																																																																																																																																																																																						
ZG1	Areia																																																																																																																																																																																																																																																						
Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias																																																																																																																																																																																																																																																							
PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA																																																																																																																																																																																																																																																							
γ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20																																																																																																																																																																																																																																																			
c' (kPa)	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																			
φ' (°)	27,10	33,15	37,00	41,33																																																																																																																																																																																																																																																			
OUTROS PARÂMETROS																																																																																																																																																																																																																																																							
OCR	1	1	1	1																																																																																																																																																																																																																																																			
E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52																																																																																																																																																																																																																																																			
p <sub>lim</sub> (MPa)	0	1,05	1,76	2,62																																																																																																																																																																																																																																																			
E <sub>m</sub> (MPa)	0	8,70	15,49	23,63																																																																																																																																																																																																																																																			
α <sub>c</sub>	#####	0,33	0,33	0,33																																																																																																																																																																																																																																																			
FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE																																																																																																																																																																																																																																																						
FS carga crítica	1,00 γ <sub>sd</sub> - carga	1,00																																																																																																																																																																																																																																																					
FS tensão no aço	1,00 γ <sub>sd</sub> - atrito	1,25																																																																																																																																																																																																																																																					
FS seção da raiz	2,00 γ <sub>sd</sub> - coesão	1,25																																																																																																																																																																																																																																																					
	γ <sub>s</sub> - raiz total	1,50																																																																																																																																																																																																																																																					
	γ <sub>s</sub> - raiz ponta	1,60																																																																																																																																																																																																																																																					
	γ <sub>1</sub> - raiz lateral	1,30																																																																																																																																																																																																																																																					
	γ <sub>ss</sub> - aço	1,00																																																																																																																																																																																																																																																					
	γ <sub>sc</sub> - calda	1,50																																																																																																																																																																																																																																																					
<p>Diâmetro efetivo: Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.</p> <p>Comprimento cabeça: Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.</p> <p>Comprimento efetivo: l<sub>efetivo</sub> = l<sub>livre</sub> + l<sub>cabeça</sub></p>		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="3">2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO</th></tr> <tr><th colspan="3">Euler e Pierre Souche</th></tr> <tr><td>Rigidez da mola Winkler</td><td>6</td><td>MN/m<sup>3</sup></td></tr> <tr><th colspan="3">Pierre Souche</th></tr> <tr><td>m</td><td>5,872</td><td></td></tr> <tr><td>w</td><td>0,188</td><td></td></tr> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;"><b>ABACOS DE SOUCHE</b></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>30</td></tr> </table>		2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO			Euler e Pierre Souche			Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>	Pierre Souche			m	5,872		w	0,188		<b>ABACOS DE SOUCHE</b>					30	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">3.2. Definir a injeção da calda e outros parâmetros</th></tr> <tr><td>TIPO</td><td>IGU</td></tr> <tr><td>Pressão da injeção</td><td>0,50 MPa</td></tr> <tr><td>Condição estrutural</td><td>Nova estrutura</td></tr> <tr><td>Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ</td><td>1</td></tr> </table>		3.2. Definir a injeção da calda e outros parâmetros		TIPO	IGU	Pressão da injeção	0,50 MPa	Condição estrutural	Nova estrutura	Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ	1																																																																																																																																																																																																																
2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO																																																																																																																																																																																																																																																							
Euler e Pierre Souche																																																																																																																																																																																																																																																							
Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>																																																																																																																																																																																																																																																					
Pierre Souche																																																																																																																																																																																																																																																							
m	5,872																																																																																																																																																																																																																																																						
w	0,188																																																																																																																																																																																																																																																						
<b>ABACOS DE SOUCHE</b>																																																																																																																																																																																																																																																							
		30																																																																																																																																																																																																																																																					
3.2. Definir a injeção da calda e outros parâmetros																																																																																																																																																																																																																																																							
TIPO	IGU																																																																																																																																																																																																																																																						
Pressão da injeção	0,50 MPa																																																																																																																																																																																																																																																						
Condição estrutural	Nova estrutura																																																																																																																																																																																																																																																						
Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ	1																																																																																																																																																																																																																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">2.4. Definir CORROSÃO</th></tr> <tr><td>CORROSÃO</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Tempo de vida útil</td><td>50 anos</td></tr> <tr><td>F<sub>u,t</sub></td><td>0,5</td></tr> <tr><td>Perda de espessura do tubo corrosão</td><td>0,0003 m</td></tr> </table>		2.4. Definir CORROSÃO		CORROSÃO	<input type="checkbox"/>	Tempo de vida útil	50 anos	F <sub>u,t</sub>	0,5	Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003 m																																																																																																																																																																																																																																												
2.4. Definir CORROSÃO																																																																																																																																																																																																																																																							
CORROSÃO	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																																						
Tempo de vida útil	50 anos																																																																																																																																																																																																																																																						
F <sub>u,t</sub>	0,5																																																																																																																																																																																																																																																						
Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003 m																																																																																																																																																																																																																																																						

Figura 114 - Informações paramétricas - 3º Caso - Comprimento livre = 3,00 m.

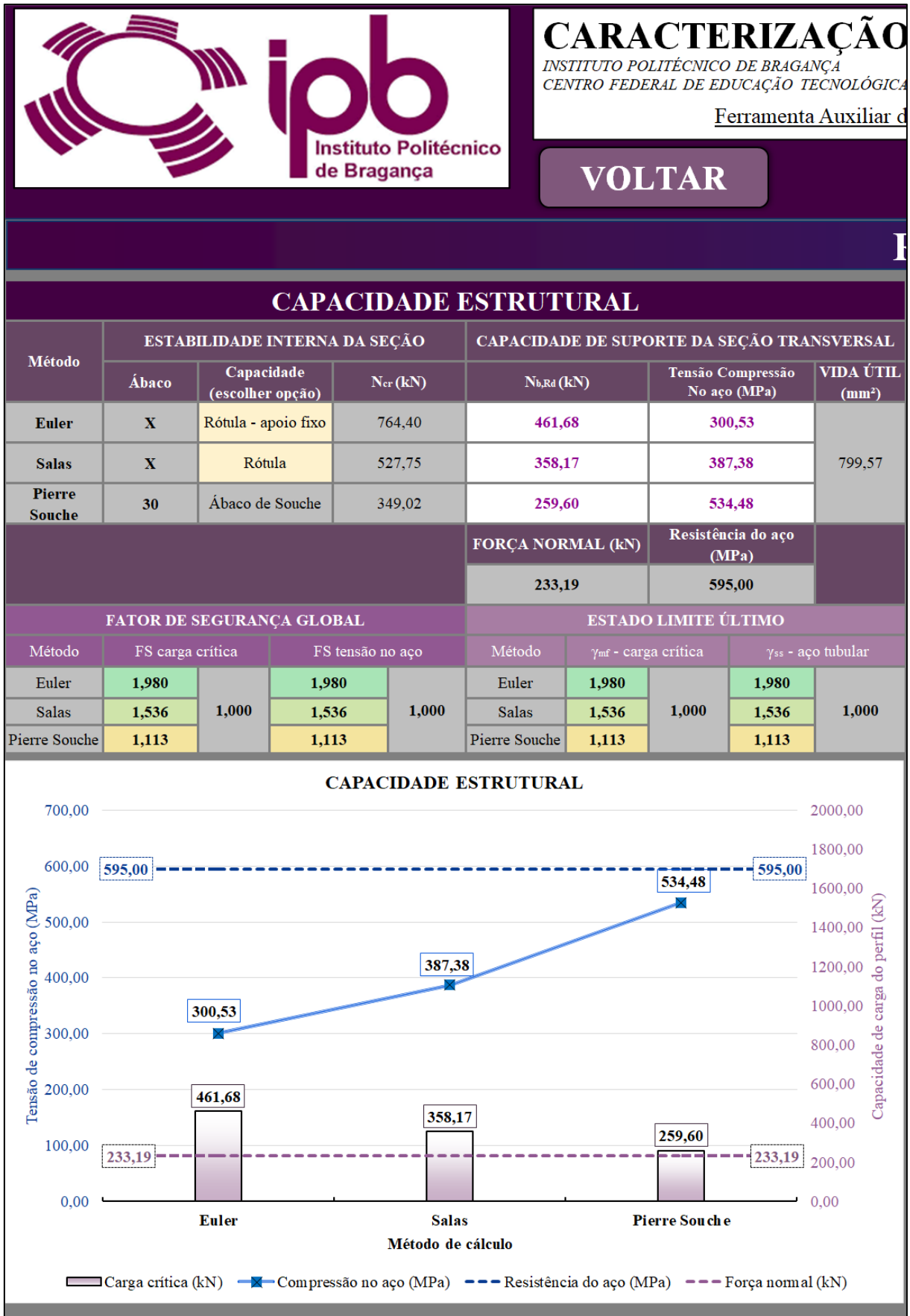



Figura 115 - Resultados - 3º Caso - Comprimento livre = 3,00 m.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

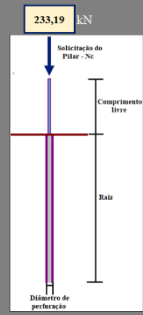
1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA	2. CAPACIDADE ESTRUTURAL	3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA	4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA																																																																																																																																																																																																																																																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Diâmetro de Perfuração</td><td>0,160</td><td>m</td></tr> <tr><td>Diâmetro efetivo*</td><td>0,154</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento cabeça*</td><td>4,00</td><td>m</td></tr> <tr style="border: 2px solid red;"><td>Comprimento livre</td><td>4,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento raiz</td><td>13,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Considerar ZG4 como referência</td><td>NÃO</td><td></td></tr> <tr><td>Comprimento efetivo*</td><td>10,50</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento TOTAL</td><td>17,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão raiz</td><td>1162,29</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão seção interna</td><td>347,38</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> </table> <p>Diâmetro efetivo Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.</p> <p>Comprimento cabeça Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.</p> <p>Comprimento efetivo L<sub>efetivo</sub> = L<sub>livre</sub> + L<sub>raiz</sub></p>	Diâmetro de Perfuração	0,160	m	Diâmetro efetivo*	0,154	m	Comprimento cabeça*	4,00	m	Comprimento livre	4,00	m	Comprimento raiz	13,00	m	Considerar ZG4 como referência	NÃO		Comprimento efetivo*	10,50	m	Comprimento TOTAL	17,00	m	Rigidez a flexão raiz	1162,29	kNm <sup>2</sup>	Rigidez a flexão seção interna	347,38	kNm <sup>2</sup>	<div style="text-align: center;">  </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="3">2.1. Informações do <b>Calda de cimento</b></th></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>28</td><td>Gpa</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>1,63E-06</td><td>m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>45,61</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de Concreto seção interna</td><td>0,0045</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>f<sub>cd</sub> (MPa)</td><td>25</td><td>MPa</td></tr> <tr><td>γ<sub>c</sub></td><td>1,5</td><td></td></tr> <tr><td>f<sub>td</sub> (MPa)</td><td>16,67</td><td>MPa</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="3">2.2. Informações do <b>aco da Armadura Tubular</b></th></tr> <tr><td>Diâmetro exterior</td><td>0,0889</td><td>m</td></tr> <tr><td>Espessura</td><td>0,0065</td><td>m</td></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>210</td><td>Gpa</td></tr> <tr><td>Diâmetro interior</td><td>0,0759</td><td>m</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>1,44E-06</td><td>m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>301,76</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de aço</td><td>1,68E-03</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>E<sub>s</sub></td><td>595</td><td>MPa</td></tr> <tr><td>γ<sub>s</sub></td><td>1,00</td><td></td></tr> <tr><td>E<sub>st</sub></td><td>595,00</td><td>MPa</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="3">2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO</th></tr> <tr><th colspan="3">Euler e Pierre Souche</th></tr> <tr><td>Rigidez da mola Winkler</td><td>6</td><td>MN/m<sup>3</sup></td></tr> <tr><th colspan="3">Pierre Souche</th></tr> <tr><td>m</td><td>6,239</td><td></td></tr> <tr><td>w</td><td>0,235</td><td></td></tr> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;"><b>ABACOS DE SOUCHE</b></td></tr> <tr><td></td><td></td><td style="text-align: center;">22</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="3">2.4. Definir <b>CORROSAO</b></th></tr> <tr><td>CORROSAO</td><td><input type="checkbox"/></td><td></td></tr> <tr><td>Tempo de vida útil</td><td>50</td><td>anos</td></tr> <tr><td>F<sub>u,t</sub></td><td>0,5</td><td></td></tr> <tr><td>Perda de espessura do tubo corrosão</td><td>0,0003</td><td>m</td></tr> </table>	2.1. Informações do <b>Calda de cimento</b>			Módulo de Elasticidade	28	Gpa	Momento de Inércia	1,63E-06	m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	45,61	kNm <sup>2</sup>	Área de Concreto seção interna	0,0045	m <sup>2</sup>	f <sub>cd</sub> (MPa)	25	MPa	γ <sub>c</sub>	1,5		f <sub>td</sub> (MPa)	16,67	MPa	2.2. Informações do <b>aco da Armadura Tubular</b>			Diâmetro exterior	0,0889	m	Espessura	0,0065	m	Módulo de Elasticidade	210	Gpa	Diâmetro interior	0,0759	m	Momento de Inércia	1,44E-06	m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	301,76	kNm <sup>2</sup>	Área de aço	1,68E-03	m <sup>2</sup>	E <sub>s</sub>	595	MPa	γ <sub>s</sub>	1,00		E <sub>st</sub>	595,00	MPa	2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO			Euler e Pierre Souche			Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>	Pierre Souche			m	6,239		w	0,235		<b>ABACOS DE SOUCHE</b>					22	2.4. Definir <b>CORROSAO</b>			CORROSAO	<input type="checkbox"/>		Tempo de vida útil	50	anos	F <sub>u,t</sub>	0,5		Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003	m	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="3">3.1. Informações do <b>Solo</b></th></tr> <tr><th colspan="4">PROFUNDIDADES DE SOLO</th></tr> <tr><td>Zona Geotécnica</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)</td><td>5,1</td><td>8,0</td><td>10,4</td><td>20,0</td></tr> <tr><td>Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)</td><td>0</td><td>2,9</td><td>2,4</td><td>9,6</td></tr> <tr><th colspan="4">VALORES DOS ENSAIOS</th></tr> <tr><td>N<sub>PM</sub> (sítio)</td><td>0</td><td>22</td><td>37</td><td>55</td></tr> <tr><td>N<sub>PT</sub></td><td>0</td><td>21</td><td>35</td><td>52</td></tr> <tr><th colspan="4">TIPOS DE SOLO</th></tr> <tr><td>Libre</td><td colspan="3">Comprimento livre da microestaca</td></tr> <tr><td>ZG4</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td>ZG3</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td>ZG2</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td>ZG1</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td colspan="4">Classificação global do solo LIZZI</td></tr> <tr><td colspan="4">Solos rígidos, cascalhos e areias</td></tr> <tr><th colspan="4">PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA</th></tr> <tr><td>γ (kN/m<sup>3</sup>)</td><td>0</td><td>19</td><td>20</td><td>20</td></tr> <tr><td>c' (kPa)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>φ' (°)</td><td>27,10</td><td>33,15</td><td>37,00</td><td>41,33</td></tr> <tr><th colspan="4">OUTROS PARÂMETROS</th></tr> <tr><td>OCR</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>E (MPa)</td><td>0</td><td>92,49</td><td>140,20</td><td>192,52</td></tr> <tr><td>ρ<sub>lim</sub> (MPa)</td><td>0</td><td>1,05</td><td>1,76</td><td>2,62</td></tr> <tr><td>E<sub>u</sub> (MPa)</td><td>0</td><td>8,70</td><td>15,49</td><td>23,63</td></tr> <tr><td>α<sub>c</sub></td><td>#####</td><td>0,33</td><td>0,33</td><td>0,33</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">3.2. Definir a <b>injeção da calda</b> e outros parâmetros</th></tr> <tr><td>TIPO</td><td>IGU</td></tr> <tr><td>Pressão da injeção</td><td>0,50 MPa</td></tr> <tr><td>Condição estrutural</td><td>Nova estrutura</td></tr> <tr><td>Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ</td><td>1</td></tr> </table>	3.1. Informações do <b>Solo</b>			PROFUNDIDADES DE SOLO				Zona Geotécnica	4	3	2	1	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	20,0	Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)	0	2,9	2,4	9,6	VALORES DOS ENSAIOS				N <sub>PM</sub> (sítio)	0	22	37	55	N <sub>PT</sub>	0	21	35	52	TIPOS DE SOLO				Libre	Comprimento livre da microestaca			ZG4	Areia			ZG3	Areia			ZG2	Areia			ZG1	Areia			Classificação global do solo LIZZI				Solos rígidos, cascalhos e areias				PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA				γ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20	c' (kPa)	0	0	0	0	φ' (°)	27,10	33,15	37,00	41,33	OUTROS PARÂMETROS				OCR	1	1	1	1	E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52	ρ <sub>lim</sub> (MPa)	0	1,05	1,76	2,62	E <sub>u</sub> (MPa)	0	8,70	15,49	23,63	α <sub>c</sub>	#####	0,33	0,33	0,33	3.2. Definir a <b>injeção da calda</b> e outros parâmetros		TIPO	IGU	Pressão da injeção	0,50 MPa	Condição estrutural	Nova estrutura	Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ	1	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>FATOR DE SEGURANÇA</th><th>ESTADO LIMITE</th></tr> <tr><td>FS carga crítica</td><td>1,00</td><td>γ<sub>ul</sub> - carga</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>FS tensão no aço</td><td>1,00</td><td>γ<sub>ms</sub> - atrito</td><td>1,25</td></tr> <tr><td>FS seção da raiz</td><td>2,00</td><td>γ<sub>ms</sub> - coesão</td><td>1,25</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>γ<sub>s</sub> - raiz total</td><td>1,50</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>γ<sub>s</sub> - raiz ponta</td><td>1,60</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>γ<sub>l</sub> - raiz lateral</td><td>1,30</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>γ<sub>ss</sub> - aço</td><td>1,00</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>γ<sub>sc</sub> - calda</td><td>1,50</td></tr> </table>	FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE	FS carga crítica	1,00	γ <sub>ul</sub> - carga	1,00	FS tensão no aço	1,00	γ <sub>ms</sub> - atrito	1,25	FS seção da raiz	2,00	γ <sub>ms</sub> - coesão	1,25			γ <sub>s</sub> - raiz total	1,50			γ <sub>s</sub> - raiz ponta	1,60			γ <sub>l</sub> - raiz lateral	1,30			γ <sub>ss</sub> - aço	1,00			γ <sub>sc</sub> - calda	1,50
Diâmetro de Perfuração	0,160	m																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Diâmetro efetivo*	0,154	m																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Comprimento cabeça*	4,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Comprimento livre	4,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Comprimento raiz	13,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Considerar ZG4 como referência	NÃO																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Comprimento efetivo*	10,50	m																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Comprimento TOTAL	17,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Rigidez a flexão raiz	1162,29	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Rigidez a flexão seção interna	347,38	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																															
2.1. Informações do <b>Calda de cimento</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Módulo de Elasticidade	28	Gpa																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Momento de Inércia	1,63E-06	m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Rigidez a flexão	45,61	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Área de Concreto seção interna	0,0045	m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																															
f <sub>cd</sub> (MPa)	25	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																															
γ <sub>c</sub>	1,5																																																																																																																																																																																																																																																																																																
f <sub>td</sub> (MPa)	16,67	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																															
2.2. Informações do <b>aco da Armadura Tubular</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Diâmetro exterior	0,0889	m																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Espessura	0,0065	m																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Módulo de Elasticidade	210	Gpa																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Diâmetro interior	0,0759	m																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Momento de Inércia	1,44E-06	m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Rigidez a flexão	301,76	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Área de aço	1,68E-03	m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																															
E <sub>s</sub>	595	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																															
γ <sub>s</sub>	1,00																																																																																																																																																																																																																																																																																																
E <sub>st</sub>	595,00	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																															
2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Euler e Pierre Souche																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Pierre Souche																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
m	6,239																																																																																																																																																																																																																																																																																																
w	0,235																																																																																																																																																																																																																																																																																																
<b>ABACOS DE SOUCHE</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
		22																																																																																																																																																																																																																																																																																															
2.4. Definir <b>CORROSAO</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
CORROSAO	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Tempo de vida útil	50	anos																																																																																																																																																																																																																																																																																															
F <sub>u,t</sub>	0,5																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003	m																																																																																																																																																																																																																																																																																															
3.1. Informações do <b>Solo</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
PROFUNDIDADES DE SOLO																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Zona Geotécnica	4	3	2	1																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	20,0																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)	0	2,9	2,4	9,6																																																																																																																																																																																																																																																																																													
VALORES DOS ENSAIOS																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
N <sub>PM</sub> (sítio)	0	22	37	55																																																																																																																																																																																																																																																																																													
N <sub>PT</sub>	0	21	35	52																																																																																																																																																																																																																																																																																													
TIPOS DE SOLO																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Libre	Comprimento livre da microestaca																																																																																																																																																																																																																																																																																																
ZG4	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																																
ZG3	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																																
ZG2	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																																
ZG1	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Classificação global do solo LIZZI																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Solos rígidos, cascalhos e areias																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
γ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20																																																																																																																																																																																																																																																																																													
c' (kPa)	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																													
φ' (°)	27,10	33,15	37,00	41,33																																																																																																																																																																																																																																																																																													
OUTROS PARÂMETROS																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
OCR	1	1	1	1																																																																																																																																																																																																																																																																																													
E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52																																																																																																																																																																																																																																																																																													
ρ <sub>lim</sub> (MPa)	0	1,05	1,76	2,62																																																																																																																																																																																																																																																																																													
E <sub>u</sub> (MPa)	0	8,70	15,49	23,63																																																																																																																																																																																																																																																																																													
α <sub>c</sub>	#####	0,33	0,33	0,33																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3.2. Definir a <b>injeção da calda</b> e outros parâmetros																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
TIPO	IGU																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Pressão da injeção	0,50 MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Condição estrutural	Nova estrutura																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																
FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE																																																																																																																																																																																																																																																																																																
FS carga crítica	1,00	γ <sub>ul</sub> - carga	1,00																																																																																																																																																																																																																																																																																														
FS tensão no aço	1,00	γ <sub>ms</sub> - atrito	1,25																																																																																																																																																																																																																																																																																														
FS seção da raiz	2,00	γ <sub>ms</sub> - coesão	1,25																																																																																																																																																																																																																																																																																														
		γ <sub>s</sub> - raiz total	1,50																																																																																																																																																																																																																																																																																														
		γ <sub>s</sub> - raiz ponta	1,60																																																																																																																																																																																																																																																																																														
		γ <sub>l</sub> - raiz lateral	1,30																																																																																																																																																																																																																																																																																														
		γ <sub>ss</sub> - aço	1,00																																																																																																																																																																																																																																																																																														
		γ <sub>sc</sub> - calda	1,50																																																																																																																																																																																																																																																																																														

Figura 116 - Informações paramétricas - 3º Caso - Comprimento livre = 4,00 m.

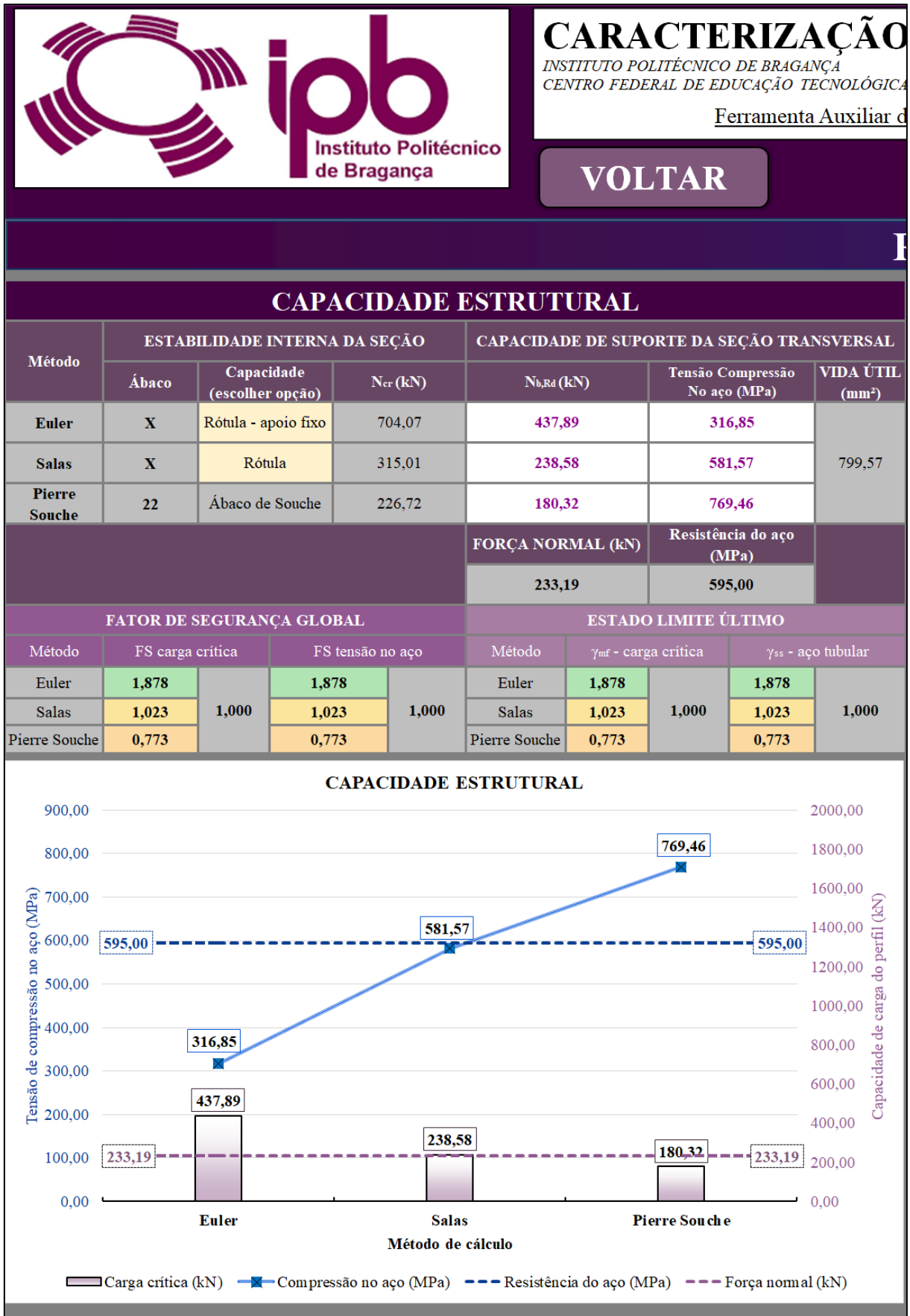



Figura 117 - Resultados - 3º Caso - Comprimento livre = 4,00 m.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA	
Diâmetro de Perfuração	0,160 m	<b>2.1. Informações do Calda de cimento</b>		<b>3.1. Informações do Solo</b>		FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE
Diâmetro efetivo*	0,154 m	Módulo de Elasticidade	28 Gpa	<b>PROFUNDIDADES DE SOLO</b>		FS carga crítica	1,00
Comprimento cabeça*	5,00 m	Momento de Inércia	1,63E-06 m <sup>4</sup>	Zona Geotécnica	4 3 2 1	FS tensão no aço	1,00
Comprimento livre	5,00 m	Rigidez a flexão	45,61 kNm <sup>2</sup>	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1 8,0 10,4 20,0	FS seção de aço	2,00
Comprimento raiz	13,00 m	Área de Concreto seção interna	0,0045 m <sup>2</sup>	Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)	0 2,9 2,4 9,6		
Considerar ZG4 como referência	NÃO	f <sub>cd</sub> (MPa)	25 MPa	<b>VALORES DOS ENSAIOS</b>			
Comprimento efetivo*	11,50 m	γ <sub>c</sub>	1,5	NFDM médio	0 22 37 55		
Comprimento TOTAL	18,00 m	f <sub>td</sub> (MPa)	16,67 MPa	NFT	0 21 35 52		
Rigidez a flexão raiz	1162,29 kNm <sup>2</sup>	<b>2.2. Informações do aço da Armadura Tubular</b>		<b>TIPOS DE SOLO</b>			
Rigidez a flexão seção interna	347,38 kNm <sup>2</sup>	Diâmetro exterior	0,0889 m	Libre	Comprimento livre da microestaca		
Diâmetro efetivo	Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.	Espessura	0,0065 m	ZG4	Areia		
Comprimento cabeça	Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.	Módulo de Elasticidade	210 Gpa	ZG3	Areia		
Comprimento efetivo	L <sub>efetivo</sub> = L <sub>livre</sub> + L <sub>raiz</sub>	Diâmetro interior	0,0759 m	ZG2	Areia		
		Momento de Inércia	1,44E-06 m <sup>4</sup>	ZG1	Areia		
		Rigidez a flexão	301,76 kNm <sup>2</sup>	<b>PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA</b>			
		Área de aço	1,68E-03 m <sup>2</sup>	Classificação global do solo LIZZI	Solos rígidos, cascalhos e areias		
		E <sub>s</sub>	595 MPa	γ (kN/m <sup>3</sup> )	0 19 20 20		
		γ <sub>s</sub>	1,00	c' (kPa)	0 0 0 0		
		E <sub>st</sub>	595,00 MPa	φ' (°)	27,10 33,15 37,00 41,33		
		<b>2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO</b>		<b>OUTROS PARÂMETROS</b>			
		Euler e Pierre Souche		OCR	1 1 1 1		
		Rigidez da mola Winkler	6 MN/m <sup>3</sup>	E (MPa)	0 92,49 140,20 192,52		
		Pierre Souche		ρ <sub>lim</sub> (MPa)	0 1,05 1,76 2,62		
		m	6,606	E <sub>av</sub> (MPa)	0 8,70 15,49 23,63		
		w	0,278	α <sub>c</sub>	##### 0,33 0,33 0,33		
		<b>2.4. Definir CORROSÃO</b>		<b>3.2. Definir a injeção da calda e outros parâmetros</b>			
		CORROSÃO	<input type="checkbox"/>	TIPO	IGU		
		Tempo de vida útil	50 anos	Pressão da injeção	0,50 MPa		
		F <sub>u,t</sub>	0,5	Condição estrutural	Nova estrutura		
		Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003 m	Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ	1		

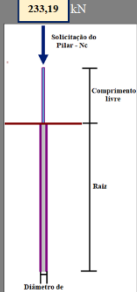


Figura 118 - Informações paramétricas - 3º Caso - Comprimento livre = 5,00 m.

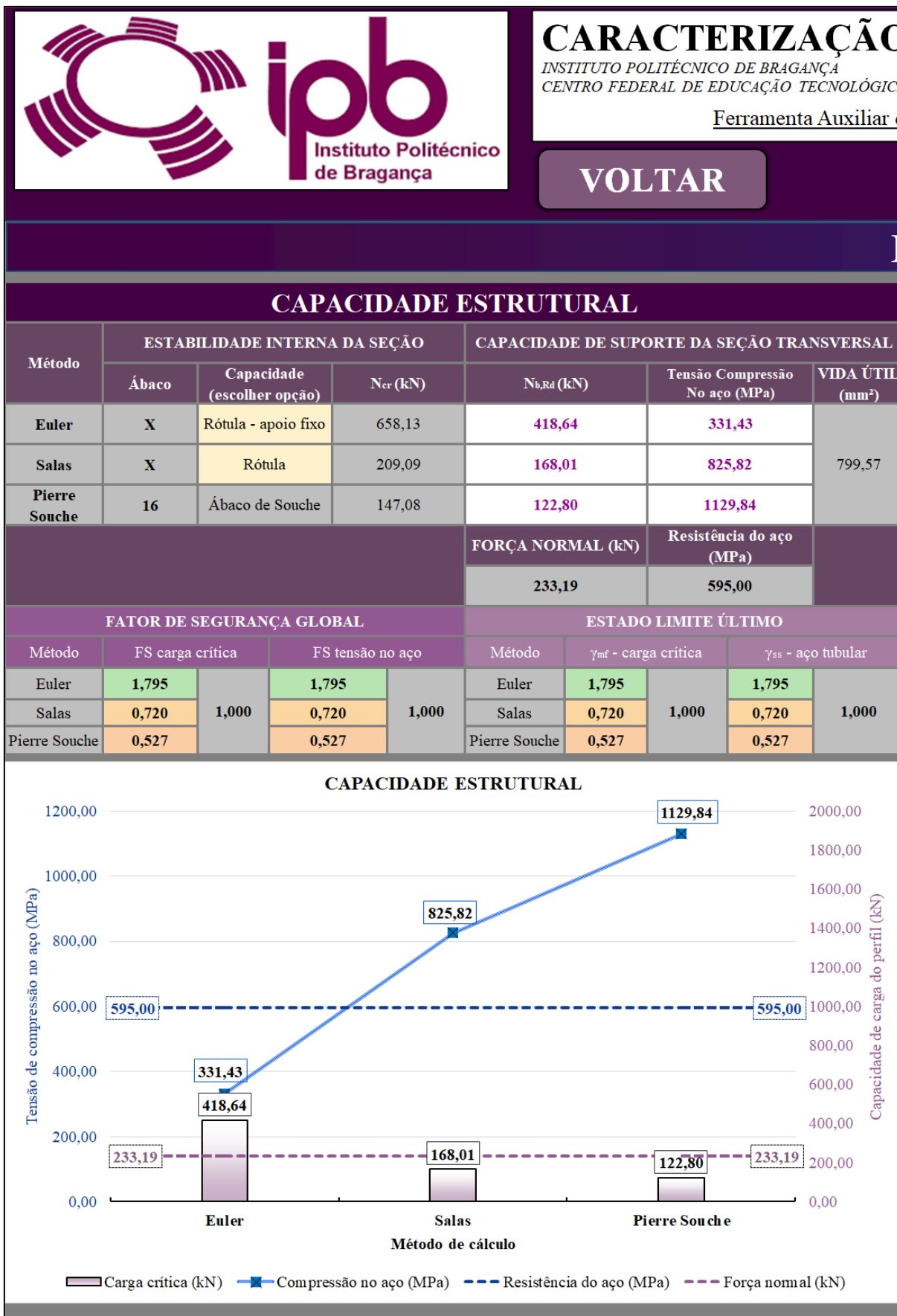



Figura 119 - Resultados - 3º Caso - Comprimento livre = 5,00 m.

## APÊNDICE A.4 – 4º CASO – IMPACTO DA CORROSÃO



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

**CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA**  
INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
 CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

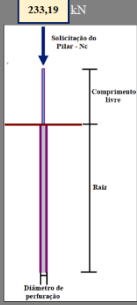
1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA	2. CAPACIDADE ESTRUTURAL	3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA	4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA																																																																																																																																																																																																																																																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Diâmetro de Perfuração</td><td>0,160</td><td>m</td></tr> <tr><td>Diâmetro efetivo*</td><td>0,154</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento cabeça*</td><td>2,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento livre</td><td>2,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento raiz</td><td>13,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Considerar ZG4 como referência</td><td>NÃO</td><td></td></tr> <tr><td>Comprimento efetivo*</td><td>8,50</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento TOTAL</td><td>15,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão raiz</td><td>1162,29</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão seção interna</td><td>347,38</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> </table> <p><small>Diâmetro efetivo: Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.                  Comprimento cabeça: Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.                  Comprimento efetivo: <math>l_{efetivo} = l_{livre} + l_{cabeça}</math></small></p>	Diâmetro de Perfuração	0,160	m	Diâmetro efetivo*	0,154	m	Comprimento cabeça*	2,00	m	Comprimento livre	2,00	m	Comprimento raiz	13,00	m	Considerar ZG4 como referência	NÃO		Comprimento efetivo*	8,50	m	Comprimento TOTAL	15,00	m	Rigidez a flexão raiz	1162,29	kNm <sup>2</sup>	Rigidez a flexão seção interna	347,38	kNm <sup>2</sup>	<div style="text-align: center; margin-bottom: 10px;">  </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;"><b>2.1. Informações do Calda de cimento</b></td></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>28</td><td>Gpa</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>1,63E-06</td><td>m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>45,61</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de Concreto seção interna</td><td>0,0045</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>f_{ck}</math> (MPa)</td><td>25</td><td>MPa</td></tr> <tr><td><math>\gamma_c</math></td><td>1,5</td><td></td></tr> <tr><td><math>f_{cd}</math> (MPa)</td><td>16,67</td><td>MPa</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;"><b>2.2. Informações do aço da Armadura Tubular</b></td></tr> <tr><td>Diâmetro exterior</td><td>0,0889</td><td>m</td></tr> <tr><td>Espessura</td><td>0,0065</td><td>m</td></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>210</td><td>Gpa</td></tr> <tr><td>Diâmetro interior</td><td>0,0759</td><td>m</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>1,44E-06</td><td>m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>301,76</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de aço</td><td>1,68E-03</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>f_{yk}</math></td><td>595</td><td>MPa</td></tr> <tr><td><math>\gamma_s</math></td><td>1,00</td><td></td></tr> <tr><td><math>f_{td}</math></td><td>595,00</td><td>MPa</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;"><b>2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO</b></td></tr> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;">Euler e Pierre Souche</td></tr> <tr><td>Rigidez da mola Winkler</td><td>6</td><td>MN/m<sup>3</sup></td></tr> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;">Pierre Souche</td></tr> <tr><td>m</td><td>5,546</td><td></td></tr> <tr><td>w</td><td>0,133</td><td></td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;"><b>2.4. Definir CORROSÃO</b></td></tr> <tr><td>CORROSÃO</td><td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Tempo de vida útil</td><td>5 anos</td></tr> <tr><td><math>F_{v,i}</math></td><td>0,5</td></tr> <tr><td>Perda de espessura do tubo corrosão</td><td>0,00015 m</td></tr> </table>	<b>2.1. Informações do Calda de cimento</b>			Módulo de Elasticidade	28	Gpa	Momento de Inércia	1,63E-06	m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	45,61	kNm <sup>2</sup>	Área de Concreto seção interna	0,0045	m <sup>2</sup>	$f_{ck}$ (MPa)	25	MPa	$\gamma_c$	1,5		$f_{cd}$ (MPa)	16,67	MPa	<b>2.2. Informações do aço da Armadura Tubular</b>			Diâmetro exterior	0,0889	m	Espessura	0,0065	m	Módulo de Elasticidade	210	Gpa	Diâmetro interior	0,0759	m	Momento de Inércia	1,44E-06	m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	301,76	kNm <sup>2</sup>	Área de aço	1,68E-03	m <sup>2</sup>	$f_{yk}$	595	MPa	$\gamma_s$	1,00		$f_{td}$	595,00	MPa	<b>2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO</b>			Euler e Pierre Souche			Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>	Pierre Souche			m	5,546		w	0,133		<b>2.4. Definir CORROSÃO</b>		CORROSÃO	<input checked="" type="checkbox"/>	Tempo de vida útil	5 anos	$F_{v,i}$	0,5	Perda de espessura do tubo corrosão	0,00015 m	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="5" style="text-align: center;"><b>3.1. Informações do Solo</b></td></tr> <tr><td colspan="5" style="text-align: center;">PROFUNDIDADES DE SOLO</td></tr> <tr><td>Zona Geotécnica</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)</td><td>5,1</td><td>8,0</td><td>10,4</td><td>20,0</td></tr> <tr><td>Altura (m) (CAMADA DO SOLO)</td><td>0</td><td>2,9</td><td>2,4</td><td>9,6</td></tr> <tr><td colspan="5" style="text-align: center;">VALORES DOS ENSAIOS</td></tr> <tr><td><math>N_{DPM\ média}</math></td><td>0</td><td>22</td><td>37</td><td>55</td></tr> <tr><td><math>N_{SPT}</math></td><td>0</td><td>21</td><td>35</td><td>52</td></tr> <tr><td colspan="5" style="text-align: center;">TIPOS DE SOLO</td></tr> <tr><td></td><td>Libre</td><td colspan="3">Comprimento livre da microestaca</td></tr> <tr><td></td><td>ZG4</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td></td><td>ZG3</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td></td><td>ZG2</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td></td><td>ZG1</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td colspan="5">Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias</td></tr> <tr><td colspan="5" style="text-align: center;">PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA</td></tr> <tr><td><math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</td><td>0</td><td>19</td><td>20</td><td>20</td></tr> <tr><td><math>c'</math> (kPa)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td><math>\phi'</math> (°)</td><td>27,10</td><td>33,15</td><td>37,00</td><td>41,33</td></tr> <tr><td colspan="5" style="text-align: center;">OUTROS PARÂMETROS</td></tr> <tr><td>OCR</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>E (MPa)</td><td>0</td><td>92,49</td><td>140,20</td><td>192,52</td></tr> <tr><td><math>\rho_{lim}</math> (MPa)</td><td>0</td><td>1,05</td><td>1,76</td><td>2,62</td></tr> <tr><td><math>E_{s0}</math> (MPa)</td><td>0</td><td>8,70</td><td>15,49</td><td>23,63</td></tr> <tr><td><math>\alpha_c</math></td><td>#####</td><td>0,33</td><td>0,33</td><td>0,33</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;"><b>3.2. Definir a injeção da calda e outros parâmetros</b></td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>IGU</td></tr> <tr><td>Pressão da injeção</td><td>0,50 MPa</td></tr> <tr><td>Condição estrutural</td><td>Nova estrutura</td></tr> <tr><td>Fator de influência (solo-estrutura) que minora o <math>\phi</math></td><td>1</td></tr> </table>	<b>3.1. Informações do Solo</b>					PROFUNDIDADES DE SOLO					Zona Geotécnica	4	3	2	1	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	20,0	Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0	2,9	2,4	9,6	VALORES DOS ENSAIOS					$N_{DPM\ média}$	0	22	37	55	$N_{SPT}$	0	21	35	52	TIPOS DE SOLO						Libre	Comprimento livre da microestaca				ZG4	Areia				ZG3	Areia				ZG2	Areia				ZG1	Areia			Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias					PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA					$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20	$c'$ (kPa)	0	0	0	0	$\phi'$ (°)	27,10	33,15	37,00	41,33	OUTROS PARÂMETROS					OCR	1	1	1	1	E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52	$\rho_{lim}$ (MPa)	0	1,05	1,76	2,62	$E_{s0}$ (MPa)	0	8,70	15,49	23,63	$\alpha_c$	#####	0,33	0,33	0,33	<b>3.2. Definir a injeção da calda e outros parâmetros</b>		TIPO	IGU	Pressão da injeção	0,50 MPa	Condição estrutural	Nova estrutura	Fator de influência (solo-estrutura) que minora o $\phi$	1	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;">FATOR DE SEGURANÇA</td><td style="text-align: center;">ESTADO LIMITE</td></tr> <tr><td>FS carga crítica</td><td>1,00 <math>\gamma_{ad}</math> - carga</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>FS inércia no aço</td><td>1,00 <math>\gamma_{ms}</math> - atrito</td><td>1,25</td></tr> <tr><td>FS seção da raiz</td><td>2,00 <math>\gamma_{mc}</math> - coesão</td><td>1,25</td></tr> <tr><td></td><td><math>\gamma_{ra}</math> - raiz total</td><td>1,50</td></tr> <tr><td></td><td><math>\gamma_{rp}</math> - raiz ponta</td><td>1,60</td></tr> <tr><td></td><td><math>\gamma_{rl}</math> - raiz lateral</td><td>1,30</td></tr> <tr><td></td><td><math>\gamma_{sa}</math> - aço</td><td>1,00</td></tr> <tr><td></td><td><math>\gamma_{sc}</math> - calda</td><td>1,50</td></tr> </table>	FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE	FS carga crítica	1,00 $\gamma_{ad}$ - carga	1,00	FS inércia no aço	1,00 $\gamma_{ms}$ - atrito	1,25	FS seção da raiz	2,00 $\gamma_{mc}$ - coesão	1,25		$\gamma_{ra}$ - raiz total	1,50		$\gamma_{rp}$ - raiz ponta	1,60		$\gamma_{rl}$ - raiz lateral	1,30		$\gamma_{sa}$ - aço	1,00		$\gamma_{sc}$ - calda	1,50
Diâmetro de Perfuração	0,160	m																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Diâmetro efetivo*	0,154	m																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Comprimento cabeça*	2,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Comprimento livre	2,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Comprimento raiz	13,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Considerar ZG4 como referência	NÃO																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Comprimento efetivo*	8,50	m																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Comprimento TOTAL	15,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Rigidez a flexão raiz	1162,29	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Rigidez a flexão seção interna	347,38	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																					
<b>2.1. Informações do Calda de cimento</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Módulo de Elasticidade	28	Gpa																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Momento de Inércia	1,63E-06	m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Rigidez a flexão	45,61	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Área de Concreto seção interna	0,0045	m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																					
$f_{ck}$ (MPa)	25	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																					
$\gamma_c$	1,5																																																																																																																																																																																																																																																																																						
$f_{cd}$ (MPa)	16,67	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																					
<b>2.2. Informações do aço da Armadura Tubular</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Diâmetro exterior	0,0889	m																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Espessura	0,0065	m																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Módulo de Elasticidade	210	Gpa																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Diâmetro interior	0,0759	m																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Momento de Inércia	1,44E-06	m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Rigidez a flexão	301,76	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Área de aço	1,68E-03	m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																					
$f_{yk}$	595	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																					
$\gamma_s$	1,00																																																																																																																																																																																																																																																																																						
$f_{td}$	595,00	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																					
<b>2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Euler e Pierre Souche																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Pierre Souche																																																																																																																																																																																																																																																																																							
m	5,546																																																																																																																																																																																																																																																																																						
w	0,133																																																																																																																																																																																																																																																																																						
<b>2.4. Definir CORROSÃO</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																							
CORROSÃO	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Tempo de vida útil	5 anos																																																																																																																																																																																																																																																																																						
$F_{v,i}$	0,5																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Perda de espessura do tubo corrosão	0,00015 m																																																																																																																																																																																																																																																																																						
<b>3.1. Informações do Solo</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PROFUNDIDADES DE SOLO																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Zona Geotécnica	4	3	2	1																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	20,0																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0	2,9	2,4	9,6																																																																																																																																																																																																																																																																																			
VALORES DOS ENSAIOS																																																																																																																																																																																																																																																																																							
$N_{DPM\ média}$	0	22	37	55																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$N_{SPT}$	0	21	35	52																																																																																																																																																																																																																																																																																			
TIPOS DE SOLO																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	Libre	Comprimento livre da microestaca																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	ZG4	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	ZG3	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	ZG2	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	ZG1	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias																																																																																																																																																																																																																																																																																							
PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA																																																																																																																																																																																																																																																																																							
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$c'$ (kPa)	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$\phi'$ (°)	27,10	33,15	37,00	41,33																																																																																																																																																																																																																																																																																			
OUTROS PARÂMETROS																																																																																																																																																																																																																																																																																							
OCR	1	1	1	1																																																																																																																																																																																																																																																																																			
E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$\rho_{lim}$ (MPa)	0	1,05	1,76	2,62																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$E_{s0}$ (MPa)	0	8,70	15,49	23,63																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$\alpha_c$	#####	0,33	0,33	0,33																																																																																																																																																																																																																																																																																			
<b>3.2. Definir a injeção da calda e outros parâmetros</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																							
TIPO	IGU																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Pressão da injeção	0,50 MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Condição estrutural	Nova estrutura																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Fator de influência (solo-estrutura) que minora o $\phi$	1																																																																																																																																																																																																																																																																																						
FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE																																																																																																																																																																																																																																																																																						
FS carga crítica	1,00 $\gamma_{ad}$ - carga	1,00																																																																																																																																																																																																																																																																																					
FS inércia no aço	1,00 $\gamma_{ms}$ - atrito	1,25																																																																																																																																																																																																																																																																																					
FS seção da raiz	2,00 $\gamma_{mc}$ - coesão	1,25																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	$\gamma_{ra}$ - raiz total	1,50																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	$\gamma_{rp}$ - raiz ponta	1,60																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	$\gamma_{rl}$ - raiz lateral	1,30																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	$\gamma_{sa}$ - aço	1,00																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	$\gamma_{sc}$ - calda	1,50																																																																																																																																																																																																																																																																																					

Figura 120 - Informações paramétricas - 4º Caso - Corrosão = 5 anos.

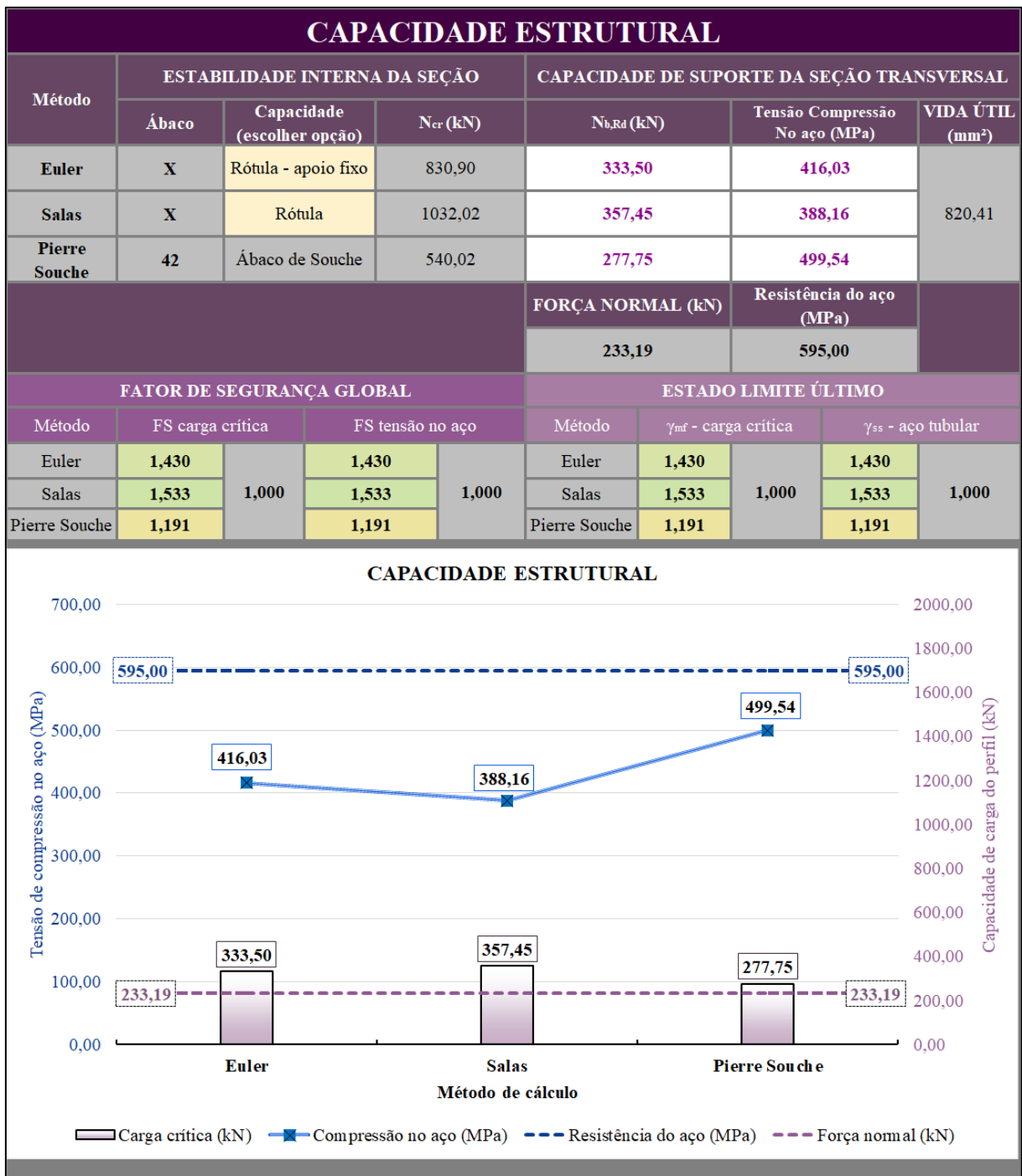



Figura 121 - Resultados - 4º Caso - Corrosão = 5 anos.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA	
Diâmetro de Perfuração	0,160 m	2.1. Informações do <b>Calda de cimento</b>		3.1. Informações do <b>Solo</b>		FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE
Diâmetro efetivo*	0,154 m	Módulo de Elasticidade	28 Gpa	3.1.1. <b>PROFUNDIDADES DE SOLO</b>		FS carga crítica	1,00
Comprimento cabeça*	2,00 m	Momento de Inércia	1,63E-06 m <sup>4</sup>	Zona Geotécnica		FS tensão no aço	1,00
Comprimento livre	2,00 m	Rigidez a flexão	45,61 kNm <sup>2</sup>	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)		FS seção de tração	2,00
Comprimento raiz	13,00 m	Área de Concreto seção interna	0,0045 m <sup>2</sup>	Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)			
Considerar ZG4 como referência	NÃO	f <sub>cd</sub> (MPa)	25 MPa	VALORES DOS ENSAIOS			
Comprimento efetivo*	8,50 m	γc	1,5	NFDM médio			
Comprimento TOTAL	15,00 m	f <sub>td</sub> (MPa)	16,67 MPa	N <sub>NET</sub>			
Rigidez a flexão raiz	1162,29 kNm <sup>2</sup>	2.2. Informações do <b>aço da Armadura Tubular</b>		TIPOS DE SOLO			
Rigidez a flexão seção interna	347,38 kNm <sup>2</sup>	Diâmetro exterior	0,0889 m	Libre			
Diâmetro efetivo	Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.	Espessura	0,0065 m	ZG4			
Comprimento cabeça	Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.	Módulo de Elasticidade	210 Gpa	ZG3			
Comprimento efetivo	Le <sub>efetivo</sub> = Le <sub>livre</sub> + Le <sub>raiz</sub>	Diâmetro interior	0,0759 m	ZG2			
		Momento de Inércia	1,44E-06 m <sup>4</sup>	ZG1			
		Rigidez a flexão	301,76 kNm <sup>2</sup>	Classificação global do solo LIZZI			
		Área de aço	1,68E-03 m <sup>2</sup>	Solos rígidos, cascalhos e areias			
		E <sub>s</sub>	595 MPa	PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA			
		γ <sub>s</sub>	1,00	γ (kN/m <sup>3</sup> )		0	19
		E <sub>st</sub>	595,00 MPa	c' (kPa)		0	0
				φ' (°)		27,10	33,15
				OUTROS PARÂMETROS			
				OCR		1	1
				E (MPa)		0	92,49
				p <sub>lim</sub> (MPa)		0	1,05
				E <sub>m</sub> (MPa)		0	8,70
				α <sub>s</sub>		#####	0,33
				3.2. Definir a <b>injeção da calda</b> e outros parâmetros			
				TIPO		IGU	
				Pressão da injeção		0,50 MPa	
				Condição estrutural		Nova estrutura	
				Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ		1	
				2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO			
				Euler e Pierre Souche			
				Rigidez da mola Winkler		6	MN/m <sup>3</sup>
				Pierre Souche			
				m		5,718	
				w		0,133	
				ABACOS DE SOUCHE			
				44			
				2.4. Definir <b>CORROSÃO</b>			
				CORROSÃO		<input checked="" type="checkbox"/>	
				Tempo de vida útil		25	anos
				F <sub>u,t</sub>		0,5	
				Perda de espessura do tubo corrosão		0,00075	m

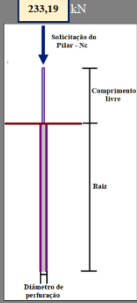


Figura 122 - Informações paramétricas - 4º Caso - Corrosão = 25 anos.

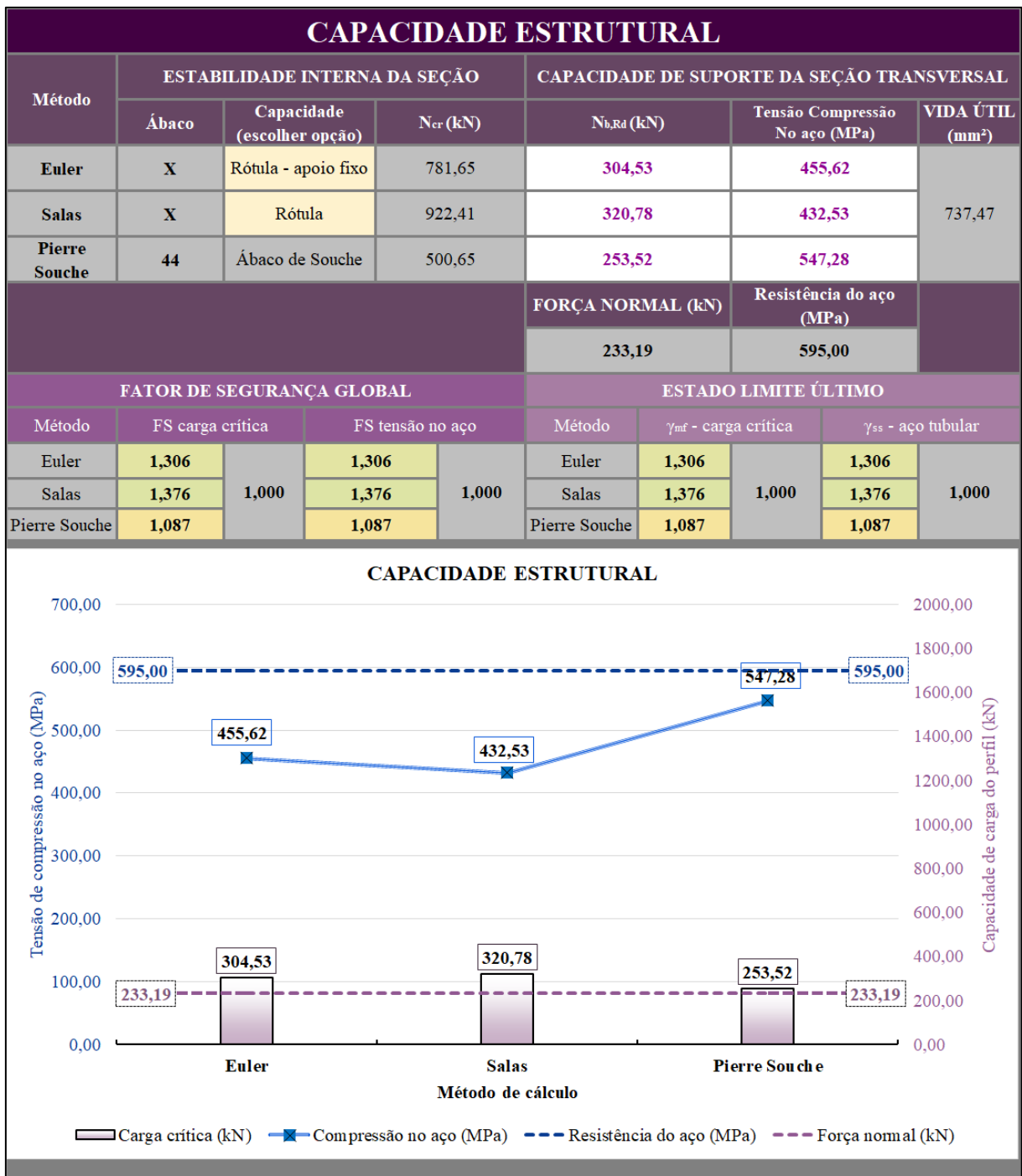



Figura 123 - Resultados - 4º Caso - Corrosão = 25 anos.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

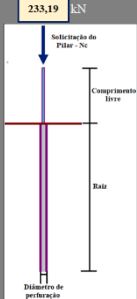


1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA																																																																																																										
<p><b>Diâmetro de Perfuração</b> 0,160 m</p> <p><b>Diâmetro efetivo*</b> 0,154 m</p> <p><b>Comprimento cabeça*</b> 2,00 m</p> <p><b>Comprimento livre</b> 2,00 m</p> <p><b>Comprimento raiz</b> 13,00 m</p> <p><b>Considerar ZG4 como referência</b> NÃO</p> <p><b>Comprimento efetivo*</b> 8,50 m</p> <p><b>Comprimento TOTAL</b> 15,00 m</p> <p><b>Rigidez a flexão raiz</b> 1162,29 kNm<sup>2</sup></p> <p><b>Rigidez a flexão seção interna</b> 347,38 kNm<sup>2</sup></p> <p><b>Diâmetro efetivo</b> Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.</p> <p><b>Comprimento cabeça</b> Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.</p> <p><b>Comprimento efetivo</b> L<sub>efetivo</sub> = L<sub>livre</sub> + L<sub>raiz</sub></p>		<p><b>2.1. Informações do Calda de cimento</b></p> <p>Módulo de Elasticidade 28 Gpa</p> <p>Momento de Inércia 1,63E-06 m<sup>4</sup></p> <p>Rigidez a flexão 45,61 kNm<sup>2</sup></p> <p>Área de Concreto seção interna 0,0045 m<sup>2</sup></p> <p>f<sub>ck</sub> (MPa) 25</p> <p>γc 1,5</p> <p>f<sub>cd</sub> (MPa) 16,67</p>		<p><b>3.1. Informações do Solo</b></p> <p><b>PROFUNDIDADES DE SOLO</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Zona Geotécnica</td> <td>4</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)</td> <td>5,1</td> <td>8,0</td> <td>10,4</td> <td>20,0</td> </tr> <tr> <td>Altura (m) (CAMADA DO SOLO)</td> <td>0</td> <td>2,9</td> <td>2,4</td> <td>9,6</td> </tr> </table> <p><b>VALORES DOS ENSAIOS</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>NºPM solo</td> <td>0</td> <td>22</td> <td>37</td> <td>55</td> </tr> <tr> <td>NºPT</td> <td>0</td> <td>21</td> <td>35</td> <td>52</td> </tr> </table> <p><b>TIPOS DE SOLO</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Libre</th> <th>Comprimento livre da microestaca</th> </tr> <tr> <td>ZG4</td> <td>Areia</td> </tr> <tr> <td>ZG3</td> <td>Areia</td> </tr> <tr> <td>ZG2</td> <td>Areia</td> </tr> <tr> <td>ZG1</td> <td>Areia</td> </tr> </table> <p>Classificação global do solo LIZZI Solos rígidos, cascalhos e areias</p> <p><b>PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>γ (kN/m<sup>3</sup>)</td> <td>0</td> <td>19</td> <td>20</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>c' (kPa)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>φ' (°)</td> <td>27,10</td> <td>33,15</td> <td>37,00</td> <td>41,33</td> </tr> </table> <p><b>OUTROS PARÂMETROS</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>OCR</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>E (MPa)</td> <td>0</td> <td>92,49</td> <td>140,20</td> <td>192,52</td> </tr> <tr> <td>ρ<sub>lim</sub> (MPa)</td> <td>0</td> <td>1,05</td> <td>1,76</td> <td>2,62</td> </tr> <tr> <td>E<sub>u</sub> (MPa)</td> <td>0</td> <td>8,70</td> <td>15,49</td> <td>23,63</td> </tr> <tr> <td>α<sub>s</sub></td> <td>#####</td> <td>0,33</td> <td>0,33</td> <td>0,33</td> </tr> </table>	Zona Geotécnica	4	3	2	1	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	20,0	Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0	2,9	2,4	9,6	NºPM solo	0	22	37	55	NºPT	0	21	35	52	Libre	Comprimento livre da microestaca	ZG4	Areia	ZG3	Areia	ZG2	Areia	ZG1	Areia	γ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20	c' (kPa)	0	0	0	0	φ' (°)	27,10	33,15	37,00	41,33	OCR	1	1	1	1	E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52	ρ <sub>lim</sub> (MPa)	0	1,05	1,76	2,62	E <sub>u</sub> (MPa)	0	8,70	15,49	23,63	α <sub>s</sub>	#####	0,33	0,33	0,33	<p><b>FATOR DE SEGURANÇA</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>FS carga crítica</td> <td>1,00</td> <td>γ<sub>ul</sub> - carga</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>FS tensão no aço</td> <td>1,00</td> <td>γ<sub>us</sub> - atrito</td> <td>1,25</td> </tr> <tr> <td>FS seção da raiz</td> <td>2,00</td> <td>γ<sub>us</sub> - coesão</td> <td>1,25</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>γ<sub>us</sub> - raiz total</td> <td>1,50</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>γ<sub>us</sub> - raiz ponta</td> <td>1,60</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>γ<sub>ul</sub> - raiz lateral</td> <td>1,30</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>γ<sub>us</sub> - aço</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>γ<sub>us</sub> - calda</td> <td>1,50</td> </tr> </table>	FS carga crítica	1,00	γ <sub>ul</sub> - carga	1,00	FS tensão no aço	1,00	γ <sub>us</sub> - atrito	1,25	FS seção da raiz	2,00	γ <sub>us</sub> - coesão	1,25			γ <sub>us</sub> - raiz total	1,50			γ <sub>us</sub> - raiz ponta	1,60			γ <sub>ul</sub> - raiz lateral	1,30			γ <sub>us</sub> - aço	1,00			γ <sub>us</sub> - calda	1,50
Zona Geotécnica	4	3	2	1																																																																																																												
Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	20,0																																																																																																												
Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0	2,9	2,4	9,6																																																																																																												
NºPM solo	0	22	37	55																																																																																																												
NºPT	0	21	35	52																																																																																																												
Libre	Comprimento livre da microestaca																																																																																																															
ZG4	Areia																																																																																																															
ZG3	Areia																																																																																																															
ZG2	Areia																																																																																																															
ZG1	Areia																																																																																																															
γ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20																																																																																																												
c' (kPa)	0	0	0	0																																																																																																												
φ' (°)	27,10	33,15	37,00	41,33																																																																																																												
OCR	1	1	1	1																																																																																																												
E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52																																																																																																												
ρ <sub>lim</sub> (MPa)	0	1,05	1,76	2,62																																																																																																												
E <sub>u</sub> (MPa)	0	8,70	15,49	23,63																																																																																																												
α <sub>s</sub>	#####	0,33	0,33	0,33																																																																																																												
FS carga crítica	1,00	γ <sub>ul</sub> - carga	1,00																																																																																																													
FS tensão no aço	1,00	γ <sub>us</sub> - atrito	1,25																																																																																																													
FS seção da raiz	2,00	γ <sub>us</sub> - coesão	1,25																																																																																																													
		γ <sub>us</sub> - raiz total	1,50																																																																																																													
		γ <sub>us</sub> - raiz ponta	1,60																																																																																																													
		γ <sub>ul</sub> - raiz lateral	1,30																																																																																																													
		γ <sub>us</sub> - aço	1,00																																																																																																													
		γ <sub>us</sub> - calda	1,50																																																																																																													
		<p><b>2.2. Informações do aço da Armadura Tubular</b></p> <p>Diâmetro exterior 0,0889 m</p> <p>Espessura 0,0065 m</p> <p>Módulo de Elasticidade 210 Gpa</p> <p>Diâmetro interior 0,0759 m</p> <p>Momento de Inércia 1,44E-06 m<sup>4</sup></p> <p>Rigidez a flexão 301,76 kNm<sup>2</sup></p> <p>Área de aço 1,68E-03 m<sup>2</sup></p> <p>E<sub>s</sub> 595 MPa</p> <p>γ<sub>s</sub> 1,00</p> <p>E<sub>sd</sub> 595,00 MPa</p>																																																																																																														
		<p><b>2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO</b></p> <p><b>Euler e Pierre Souche</b></p> <p>Rigidez da mola Winkler 6 MN/m<sup>3</sup></p> <p><b>Pierre Souche</b></p> <p>m 5,964</p> <p>w 0,133</p> <p style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 2px;">ABACOS DE SOUCHE 46</p>			<p><b>3.2. Definir a injeção da calda e outros parâmetros</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>TIPO</td> <td>IGU</td> </tr> <tr> <td>Pressão da injeção</td> <td>0,50 MPa</td> </tr> <tr> <td>Condição estrutural</td> <td>Nova estrutura</td> </tr> <tr> <td>Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ</td> <td>1</td> </tr> </table>	TIPO	IGU	Pressão da injeção	0,50 MPa	Condição estrutural	Nova estrutura	Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ	1																																																																																																			
TIPO	IGU																																																																																																															
Pressão da injeção	0,50 MPa																																																																																																															
Condição estrutural	Nova estrutura																																																																																																															
Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ	1																																																																																																															
		<p><b>2.4. Definir CORROSÃO</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>CORROSÃO</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Tempo de vida útil</td> <td>50 anos</td> </tr> <tr> <td>F<sub>u,t</sub></td> <td>0,5</td> </tr> <tr> <td>Perda de espessura do tubo corrosão</td> <td>0,0015 m</td> </tr> </table>	CORROSÃO	<input checked="" type="checkbox"/>	Tempo de vida útil	50 anos	F <sub>u,t</sub>	0,5	Perda de espessura do tubo corrosão	0,0015 m																																																																																																						
CORROSÃO	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																															
Tempo de vida útil	50 anos																																																																																																															
F <sub>u,t</sub>	0,5																																																																																																															
Perda de espessura do tubo corrosão	0,0015 m																																																																																																															

Figura 124 - Informações paramétricas - 4º Caso - Corrosão = 50 anos.

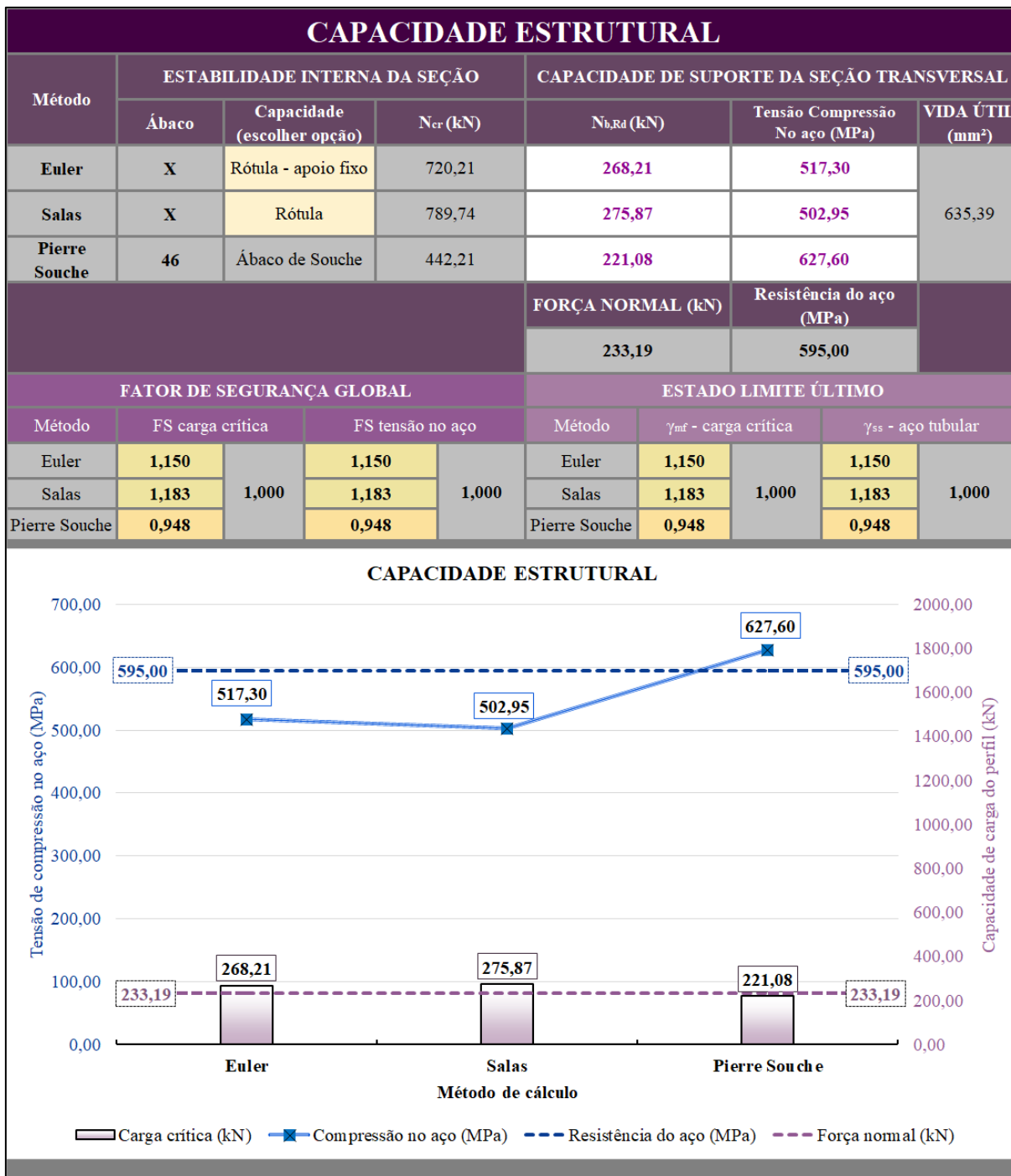



Figura 125 - Resultados - 4º Caso - Corrosão = 50 anos.



## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

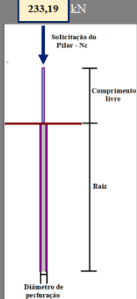
1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA																																																																																																																																																																																																														
<p><b>Diâmetro de Perforação</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>0,160</td><td>m</td></tr> </table> <p><b>Diâmetro efetivo*</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>0,154</td><td>m</td></tr> </table> <p><b>Comprimento cabeça*</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>2,00</td><td>m</td></tr> </table> <p><b>Comprimento livre</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>2,00</td><td>m</td></tr> </table> <p><b>Comprimento raiz</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>13,00</td><td>m</td></tr> </table> <p><b>Considerar ZG4 como referência</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>NÃO</td><td></td></tr> </table> <p><b>Comprimento efetivo*</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>8,50</td><td>m</td></tr> </table> <p><b>Comprimento TOTAL</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>15,00</td><td>m</td></tr> </table> <p><b>Rigidez a flexão raiz</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1162,29</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> </table> <p><b>Rigidez a flexão seção interna</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>347,38</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> </table> <p><b>Diâmetro efetivo</b> Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.</p> <p><b>Comprimento cabeça</b> Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.</p> <p><b>Comprimento efetivo</b> L<sub>efetivo</sub> = L<sub>livre</sub> + L<sub>raiz</sub></p>	0,160	m	0,154	m	2,00	m	2,00	m	13,00	m	NÃO		8,50	m	15,00	m	1162,29	kNm <sup>2</sup>	347,38	kNm <sup>2</sup>		<p><b>2.1. Informações do Calda de cimento</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>28</td><td>Gpa</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>1,63E-06</td><td>m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>45,61</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de Concreto seção interna</td><td>0,0045</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>f<sub>cd</sub> (MPa)</td><td>25</td><td>MPa</td></tr> <tr><td>γ<sub>c</sub></td><td>1,5</td><td></td></tr> <tr><td>f<sub>td</sub> (MPa)</td><td>16,67</td><td>MPa</td></tr> </table> <p><b>2.2. Informações do aço da Armadura Tubular</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Diâmetro exterior</td><td>0,0889</td><td>m</td></tr> <tr><td>Espessura</td><td>0,0065</td><td>m</td></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>210</td><td>Gpa</td></tr> <tr><td>Diâmetro interior</td><td>0,0759</td><td>m</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>1,44E-06</td><td>m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>301,76</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de aço</td><td>1,68E-03</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>E<sub>s</sub></td><td>595</td><td>MPa</td></tr> <tr><td>γ<sub>s</sub></td><td>1,00</td><td></td></tr> <tr><td>E<sub>st</sub></td><td>595,00</td><td>MPa</td></tr> </table> <p><b>2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Euler e Pierre Souche</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Rigidez da mola Winkler</td><td>6</td><td>MN/m<sup>3</sup></td></tr> </table> <p style="text-align: center;"><b>Pierre Souche</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>m</td><td>6,256</td></tr> <tr><td>w</td><td>0,133</td></tr> </table> <p style="text-align: center;"><b>ABACOS DE SOUCHE</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td></td><td>47</td></tr> </table> <p><b>2.4. Definir CORROSÃO</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>CORROSÃO</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Tempo de vida útil</td><td>75</td><td>anos</td></tr> <tr><td>F<sub>u,t</sub></td><td>0,5</td></tr> <tr><td>Perda de espessura do tubo corrosão</td><td>0,00225</td><td>m</td></tr> </table>	Módulo de Elasticidade	28	Gpa	Momento de Inércia	1,63E-06	m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	45,61	kNm <sup>2</sup>	Área de Concreto seção interna	0,0045	m <sup>2</sup>	f <sub>cd</sub> (MPa)	25	MPa	γ <sub>c</sub>	1,5		f <sub>td</sub> (MPa)	16,67	MPa	Diâmetro exterior	0,0889	m	Espessura	0,0065	m	Módulo de Elasticidade	210	Gpa	Diâmetro interior	0,0759	m	Momento de Inércia	1,44E-06	m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	301,76	kNm <sup>2</sup>	Área de aço	1,68E-03	m <sup>2</sup>	E <sub>s</sub>	595	MPa	γ <sub>s</sub>	1,00		E <sub>st</sub>	595,00	MPa	Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>	m	6,256	w	0,133		47	CORROSÃO	<input checked="" type="checkbox"/>	Tempo de vida útil	75	anos	F <sub>u,t</sub>	0,5	Perda de espessura do tubo corrosão	0,00225	m	<p><b>3.1. Informações do Solo</b></p> <p style="text-align: center;"><b>PROFUNDIDADES DE SOLO</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Zona Geotécnica</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)</td><td>5,1</td><td>8,0</td><td>10,4</td><td>20,0</td></tr> <tr><td>Altura (m) (CAMADA DO SOLO)</td><td>0</td><td>2,9</td><td>2,4</td><td>9,6</td></tr> </table> <p style="text-align: center;"><b>VALORES DOS ENSAIOS</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>NFDM solo</td><td>0</td><td>22</td><td>37</td><td>55</td></tr> <tr><td>N<sub>NET</sub></td><td>0</td><td>21</td><td>35</td><td>52</td></tr> </table> <p style="text-align: center;"><b>TIPOS DE SOLO</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Libre</td><td>Comprimento livre da microestaca</td></tr> <tr><td>ZG4</td><td>Areia</td></tr> <tr><td>ZG3</td><td>Areia</td></tr> <tr><td>ZG2</td><td>Areia</td></tr> <tr><td>ZG1</td><td>Areia</td></tr> </table> <p>Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias</p> <p style="text-align: center;"><b>PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>γ (kN/m<sup>3</sup>)</td><td>0</td><td>19</td><td>20</td><td>20</td></tr> <tr><td>c' (kPa)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>φ' (°)</td><td>27,10</td><td>33,15</td><td>37,00</td><td>41,33</td></tr> </table> <p style="text-align: center;"><b>OUTROS PARÂMETROS</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>OCR</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>E (MPa)</td><td>0</td><td>92,49</td><td>140,20</td><td>192,52</td></tr> <tr><td>ρ<sub>lim</sub> (MPa)</td><td>0</td><td>1,05</td><td>1,76</td><td>2,62</td></tr> <tr><td>E<sub>u</sub> (MPa)</td><td>0</td><td>8,70</td><td>15,49</td><td>23,63</td></tr> <tr><td>α<sub>s</sub></td><td>#####</td><td>0,33</td><td>0,33</td><td>0,33</td></tr> </table> <p><b>3.2. Definir a injeção da calda e outros parâmetros</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>TIPO</td><td>IGU</td></tr> <tr><td>Pressão da injeção</td><td>0,50</td><td>MPa</td></tr> <tr><td>Condição estrutural</td><td>Nova estrutura</td></tr> <tr><td>Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ</td><td>1</td></tr> </table>	Zona Geotécnica	4	3	2	1	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	20,0	Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0	2,9	2,4	9,6	NFDM solo	0	22	37	55	N <sub>NET</sub>	0	21	35	52	Libre	Comprimento livre da microestaca	ZG4	Areia	ZG3	Areia	ZG2	Areia	ZG1	Areia	γ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20	c' (kPa)	0	0	0	0	φ' (°)	27,10	33,15	37,00	41,33	OCR	1	1	1	1	E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52	ρ <sub>lim</sub> (MPa)	0	1,05	1,76	2,62	E <sub>u</sub> (MPa)	0	8,70	15,49	23,63	α <sub>s</sub>	#####	0,33	0,33	0,33	TIPO	IGU	Pressão da injeção	0,50	MPa	Condição estrutural	Nova estrutura	Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ	1	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>FATOR DE SEGURANÇA</th><th>ESTADO LIMITE</th></tr> <tr><td>FS carga crítica</td><td>1,00</td><td>γ<sub>ul</sub> - carga</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>FS tensão no aço</td><td>1,00</td><td>γ<sub>ms</sub> - atrito</td><td>1,25</td></tr> <tr><td>FS seção da raiz</td><td>2,00</td><td>γ<sub>ms</sub> - coesão</td><td>1,25</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>γ<sub>ts</sub> - raiz total</td><td>1,50</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>γ<sub>ts</sub> - raiz ponta</td><td>1,60</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>γ<sub>ts</sub> - raiz lateral</td><td>1,30</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>γ<sub>ss</sub> - aço</td><td>1,00</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>γ<sub>ss</sub> - calda</td><td>1,50</td></tr> </table>	FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE	FS carga crítica	1,00	γ <sub>ul</sub> - carga	1,00	FS tensão no aço	1,00	γ <sub>ms</sub> - atrito	1,25	FS seção da raiz	2,00	γ <sub>ms</sub> - coesão	1,25			γ <sub>ts</sub> - raiz total	1,50			γ <sub>ts</sub> - raiz ponta	1,60			γ <sub>ts</sub> - raiz lateral	1,30			γ <sub>ss</sub> - aço	1,00			γ <sub>ss</sub> - calda	1,50
0,160	m																																																																																																																																																																																																																			
0,154	m																																																																																																																																																																																																																			
2,00	m																																																																																																																																																																																																																			
2,00	m																																																																																																																																																																																																																			
13,00	m																																																																																																																																																																																																																			
NÃO																																																																																																																																																																																																																				
8,50	m																																																																																																																																																																																																																			
15,00	m																																																																																																																																																																																																																			
1162,29	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																			
347,38	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																			
Módulo de Elasticidade	28	Gpa																																																																																																																																																																																																																		
Momento de Inércia	1,63E-06	m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																		
Rigidez a flexão	45,61	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																		
Área de Concreto seção interna	0,0045	m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																		
f <sub>cd</sub> (MPa)	25	MPa																																																																																																																																																																																																																		
γ <sub>c</sub>	1,5																																																																																																																																																																																																																			
f <sub>td</sub> (MPa)	16,67	MPa																																																																																																																																																																																																																		
Diâmetro exterior	0,0889	m																																																																																																																																																																																																																		
Espessura	0,0065	m																																																																																																																																																																																																																		
Módulo de Elasticidade	210	Gpa																																																																																																																																																																																																																		
Diâmetro interior	0,0759	m																																																																																																																																																																																																																		
Momento de Inércia	1,44E-06	m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																		
Rigidez a flexão	301,76	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																		
Área de aço	1,68E-03	m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																		
E <sub>s</sub>	595	MPa																																																																																																																																																																																																																		
γ <sub>s</sub>	1,00																																																																																																																																																																																																																			
E <sub>st</sub>	595,00	MPa																																																																																																																																																																																																																		
Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>																																																																																																																																																																																																																		
m	6,256																																																																																																																																																																																																																			
w	0,133																																																																																																																																																																																																																			
	47																																																																																																																																																																																																																			
CORROSÃO	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																			
Tempo de vida útil	75	anos																																																																																																																																																																																																																		
F <sub>u,t</sub>	0,5																																																																																																																																																																																																																			
Perda de espessura do tubo corrosão	0,00225	m																																																																																																																																																																																																																		
Zona Geotécnica	4	3	2	1																																																																																																																																																																																																																
Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	20,0																																																																																																																																																																																																																
Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0	2,9	2,4	9,6																																																																																																																																																																																																																
NFDM solo	0	22	37	55																																																																																																																																																																																																																
N <sub>NET</sub>	0	21	35	52																																																																																																																																																																																																																
Libre	Comprimento livre da microestaca																																																																																																																																																																																																																			
ZG4	Areia																																																																																																																																																																																																																			
ZG3	Areia																																																																																																																																																																																																																			
ZG2	Areia																																																																																																																																																																																																																			
ZG1	Areia																																																																																																																																																																																																																			
γ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20																																																																																																																																																																																																																
c' (kPa)	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																
φ' (°)	27,10	33,15	37,00	41,33																																																																																																																																																																																																																
OCR	1	1	1	1																																																																																																																																																																																																																
E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52																																																																																																																																																																																																																
ρ <sub>lim</sub> (MPa)	0	1,05	1,76	2,62																																																																																																																																																																																																																
E <sub>u</sub> (MPa)	0	8,70	15,49	23,63																																																																																																																																																																																																																
α <sub>s</sub>	#####	0,33	0,33	0,33																																																																																																																																																																																																																
TIPO	IGU																																																																																																																																																																																																																			
Pressão da injeção	0,50	MPa																																																																																																																																																																																																																		
Condição estrutural	Nova estrutura																																																																																																																																																																																																																			
Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ	1																																																																																																																																																																																																																			
FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE																																																																																																																																																																																																																			
FS carga crítica	1,00	γ <sub>ul</sub> - carga	1,00																																																																																																																																																																																																																	
FS tensão no aço	1,00	γ <sub>ms</sub> - atrito	1,25																																																																																																																																																																																																																	
FS seção da raiz	2,00	γ <sub>ms</sub> - coesão	1,25																																																																																																																																																																																																																	
		γ <sub>ts</sub> - raiz total	1,50																																																																																																																																																																																																																	
		γ <sub>ts</sub> - raiz ponta	1,60																																																																																																																																																																																																																	
		γ <sub>ts</sub> - raiz lateral	1,30																																																																																																																																																																																																																	
		γ <sub>ss</sub> - aço	1,00																																																																																																																																																																																																																	
		γ <sub>ss</sub> - calda	1,50																																																																																																																																																																																																																	

Figura 126 - Informações paramétricas - 4º Caso - Corrosão = 75 anos.

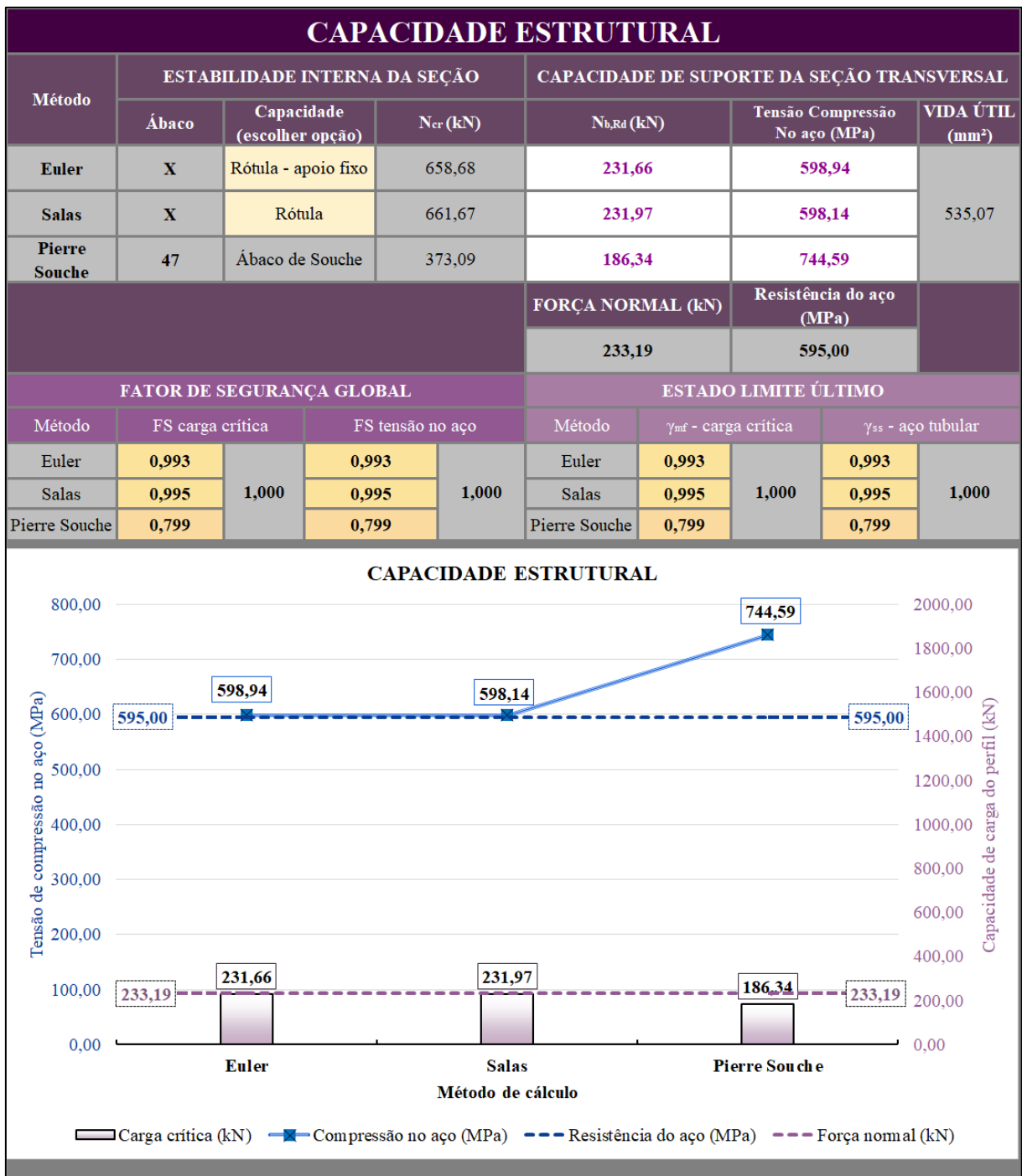



Figura 127 - Resultados - 4º Caso - Corrosão = 75 anos.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA	
Diâmetro de Perfuração	0,160 m	<b>2.1. Informações do Calda de cimento</b>		<b>3.1. Informações do Solo</b>		FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE
Diâmetro efetivo*	0,154 m	Módulo de Elasticidade	28 Gpa	<b>PROFUNDIDADES DE SOLO</b>		FS carga crítica	1,00
Comprimento cabeça*	2,00 m	Momento de Inércia	1,63E-06 m <sup>4</sup>	Zona Geotécnica	4 3 2 1	FS tensão no aço	1,00
Comprimento livre	2,00 m	Rigidez a flexão	45,61 kNm <sup>2</sup>	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1 8,0 10,4 20,0	FS seção de tração	2,00
Comprimento raiz	13,00 m	Área de Concreto seção interna	0,0045 m <sup>2</sup>	Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)	0 2,9 2,4 9,6		
Considerar ZG4 como referência	NÃO	f <sub>cd</sub> (MPa)	25 MPa	<b>VALORES DOS ENSAIOS</b>			
Comprimento efetivo*	8,50 m	γ <sub>c</sub>	1,5	NFDM médio	0 22 37 55		
Comprimento TOTAL	15,00 m	f <sub>td</sub> (MPa)	16,67 MPa	N <sub>NET</sub>	0 21 35 52		
Rigidez a flexão raiz	1162,29 kNm <sup>2</sup>	<b>2.2. Informações do aço da Armadura Tubular</b>		<b>TIPOS DE SOLO</b>			
Rigidez a flexão seção interna	347,38 kNm <sup>2</sup>	Diâmetro exterior	0,0889 m	Libre	Comprimento livre da microestaca		
Diâmetro efetivo	Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.	Espessura	0,0065 m	ZG4	Areia		
Comprimento cabeça	Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.	Módulo de Elasticidade	210 Gpa	ZG3	Areia		
Comprimento efetivo	L <sub>efetivo</sub> = L <sub>livre</sub> + L <sub>raiz</sub>	Diâmetro interior	0,0759 m	ZG2	Areia		
		Momento de Inércia	1,44E-06 m <sup>4</sup>	ZG1	Areia		
		Rigidez a flexão	301,76 kNm <sup>2</sup>	<b>PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA</b>			
		Área de aço	1,68E-03 m <sup>2</sup>	Classificação global do solo LIZZI	Solos rígidos, cascalhos e areias		
		E <sub>s</sub>	595 MPa	γ (kN/m <sup>3</sup> )	0 19 20 20		
		γ <sub>s</sub>	1,00	c' (kPa)	0 0 0 0		
		E <sub>st</sub>	595,00 MPa	φ' (°)	27,10 33,15 37,00 41,33		
		<b>2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO</b>		<b>OUTROS PARÂMETROS</b>			
		Euler e Pierre Souche		OCR	1 1 1 1		
		Rigidez da mola Winkler	6 MN/m <sup>3</sup>	E (MPa)	0 92,49 140,20 192,52		
		Pierre Souche		p <sub>lim</sub> (MPa)	0 1,05 1,76 2,62		
		m	6,615	E <sub>m</sub> (MPa)	0 8,70 15,49 23,63		
		w	0,133	α <sub>c</sub>	##### 0,33 0,33 0,33		
		<b>2.4. Definir CORROSÃO</b>		<b>3.2. Definir a injeção da calda e outros parâmetros</b>			
		CORROSÃO	<input checked="" type="checkbox"/>	TIPO	IGU		
		Tempo de vida útil	100 anos	Pressão da injeção	0,50 MPa		
		F <sub>u,t</sub>	0,5	Condição estrutural	Nova estrutura		
		Perda de espessura do tubo corrosão	0,003 m	Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ	1		

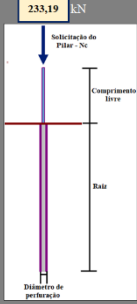


Figura 128 - Informações paramétricas - 4º Caso - Corrosão = 100 anos.

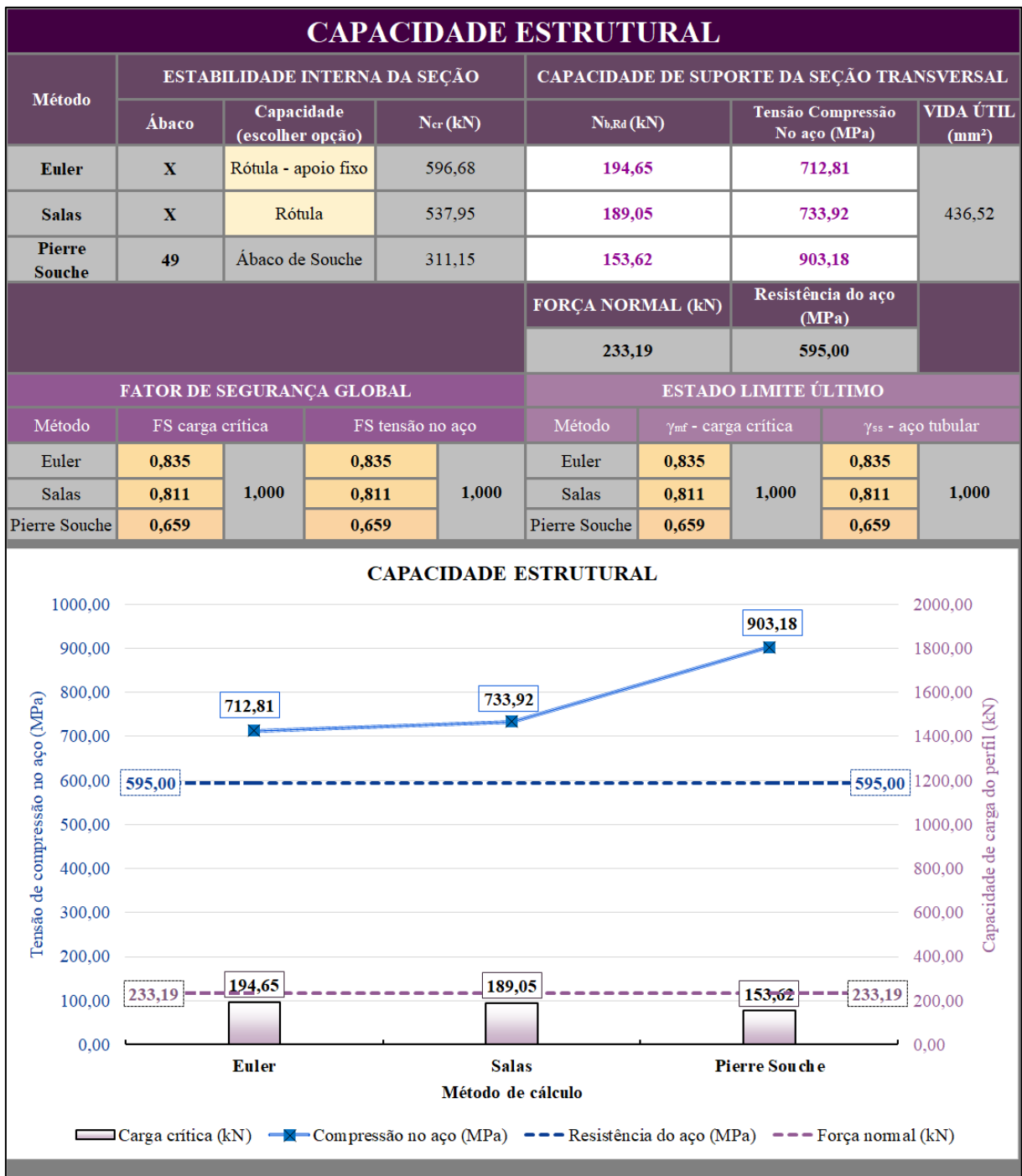



Figura 129 - Resultados - 4º Caso - Corrosão = 100 anos.

## APÊNDICE A.5 – 5º CASO – DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO



**ipb**  
Instituto Politécnico  
de Bragança

**CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA**  
INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
 CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

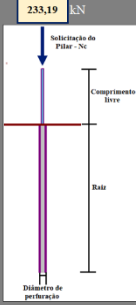
1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA																																																																																																																																																																																																																																																																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Diâmetro de Perfuração</td><td>0,120</td><td>m</td></tr> <tr><td>Diâmetro efetivo*</td><td>0,154</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento cabeça*</td><td>2,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento livre</td><td>2,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento raiz</td><td>13,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Considerar ZG4 como referência</td><td>NÃO</td><td></td></tr> <tr><td>Comprimento efetivo*</td><td>8,50</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento TOTAL</td><td>15,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão raiz</td><td>546,53</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão seção interna</td><td>347,38</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> </table> <p><small>Diâmetro efetivo Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.</small></p> <p><small>Comprimento cabeça Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.</small></p> <p><small>Comprimento efetivo Leftivo = Livre + Raiz</small></p>	Diâmetro de Perfuração	0,120	m	Diâmetro efetivo*	0,154	m	Comprimento cabeça*	2,00	m	Comprimento livre	2,00	m	Comprimento raiz	13,00	m	Considerar ZG4 como referência	NÃO		Comprimento efetivo*	8,50	m	Comprimento TOTAL	15,00	m	Rigidez a flexão raiz	546,53	kNm <sup>2</sup>	Rigidez a flexão seção interna	347,38	kNm <sup>2</sup>		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="3">2.1. Informações do Calda de cimento</th></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>28</td><td>Gpa</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>1,63E-06</td><td>m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>45,61</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de Concreto seção interna</td><td>0,0045</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>f<sub>ck</sub> (MPa)</td><td>25</td><td>MPa</td></tr> <tr><td>γ<sub>c</sub></td><td>1,5</td><td></td></tr> <tr><td>f<sub>cd</sub> (MPa)</td><td>16,67</td><td>MPa</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="3">2.2. Informações do aço da Armadura Tubular</th></tr> <tr><td>Diâmetro exterior</td><td>0,0889</td><td>m</td></tr> <tr><td>Espessura</td><td>0,0065</td><td>m</td></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>210</td><td>Gpa</td></tr> <tr><td>Diâmetro interior</td><td>0,0759</td><td>m</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>1,44E-06</td><td>m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>301,76</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de aço</td><td>1,68E-03</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>f<sub>yk</sub></td><td>595</td><td>MPa</td></tr> <tr><td>γ<sub>s</sub></td><td>1,00</td><td></td></tr> <tr><td>f<sub>sd</sub></td><td>595,00</td><td>MPa</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="3">2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO</th></tr> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;">Euler e Pierre Souche</td></tr> <tr><td>Rigidez da mola Winkler</td><td>6</td><td>MN/m<sup>3</sup></td></tr> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;">Pierre Souche</td></tr> <tr><td>m</td><td>5,587</td><td></td></tr> <tr><td>w</td><td>0,133</td><td></td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">2.4. Definir CORROSÃO</th></tr> <tr><td>CORROSÃO</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Tempo de vida útil</td><td>50 anos</td></tr> <tr><td>F<sub>u,t</sub></td><td>0,5</td></tr> <tr><td>Perda de espessura do tubo corrosão</td><td>0,0003 m</td></tr> </table>	2.1. Informações do Calda de cimento			Módulo de Elasticidade	28	Gpa	Momento de Inércia	1,63E-06	m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	45,61	kNm <sup>2</sup>	Área de Concreto seção interna	0,0045	m <sup>2</sup>	f <sub>ck</sub> (MPa)	25	MPa	γ <sub>c</sub>	1,5		f <sub>cd</sub> (MPa)	16,67	MPa	2.2. Informações do aço da Armadura Tubular			Diâmetro exterior	0,0889	m	Espessura	0,0065	m	Módulo de Elasticidade	210	Gpa	Diâmetro interior	0,0759	m	Momento de Inércia	1,44E-06	m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	301,76	kNm <sup>2</sup>	Área de aço	1,68E-03	m <sup>2</sup>	f <sub>yk</sub>	595	MPa	γ <sub>s</sub>	1,00		f <sub>sd</sub>	595,00	MPa	2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO			Euler e Pierre Souche			Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>	Pierre Souche			m	5,587		w	0,133		2.4. Definir CORROSÃO		CORROSÃO	<input checked="" type="checkbox"/>	Tempo de vida útil	50 anos	F <sub>u,t</sub>	0,5	Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003 m	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="5">3.1. Informações do Solo</th></tr> <tr><th colspan="5">PROFUNDIDADES DE SOLO</th></tr> <tr><td>Zona Geotécnica</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)</td><td>5,1</td><td>8,0</td><td>10,4</td><td>20,0</td></tr> <tr><td>Altura (m) (CAMADA DO SOLO)</td><td>0</td><td>2,9</td><td>2,4</td><td>9,6</td></tr> <tr><th colspan="5">VALORES DOS ENSAIOS</th></tr> <tr><td>N<sub>PTM</sub> médio</td><td>0</td><td>22</td><td>37</td><td>55</td></tr> <tr><td>N<sub>SP</sub></td><td>0</td><td>21</td><td>35</td><td>52</td></tr> <tr><th colspan="5">TIPOS DE SOLO</th></tr> <tr><td></td><td>Livre</td><td colspan="3">Comprimento livre da microestaca</td></tr> <tr><td></td><td>ZG4</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td></td><td>ZG3</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td></td><td>ZG2</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td></td><td>ZG1</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td>Classificação global do solo LIZZI</td><td colspan="4">Solos rígidos, cascalhos e areias</td></tr> <tr><th colspan="5">PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA</th></tr> <tr><td>γ (kN/m<sup>3</sup>)</td><td>0</td><td>19</td><td>20</td><td>20</td></tr> <tr><td>c' (kPa)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>φ' (°)</td><td>27,10</td><td>33,15</td><td>37,00</td><td>41,33</td></tr> <tr><th colspan="5">OUTROS PARÂMETROS</th></tr> <tr><td>OCR</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>E (MPa)</td><td>0</td><td>92,49</td><td>140,20</td><td>192,52</td></tr> <tr><td>p<sub>lim</sub> (MPa)</td><td>0</td><td>1,05</td><td>1,76</td><td>2,62</td></tr> <tr><td>E<sub>s</sub> (MPa)</td><td>0</td><td>8,70</td><td>15,49</td><td>23,63</td></tr> <tr><td>α<sub>s</sub></td><td>#####</td><td>0,33</td><td>0,33</td><td>0,33</td></tr> <tr><th colspan="5">3.2. Defina a Injeção da calda e outros parâmetros</th></tr> <tr><td>TIPO</td><td colspan="4">IGU</td></tr> <tr><td>Pressão da injeção</td><td colspan="4">0,50 MPa</td></tr> <tr><td>Condição estrutural</td><td colspan="4">Nova estrutura</td></tr> <tr><td>Fator de influência (solo-estrutura) que minorra o φ</td><td colspan="4">1</td></tr> </table>	3.1. Informações do Solo					PROFUNDIDADES DE SOLO					Zona Geotécnica	4	3	2	1	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	20,0	Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0	2,9	2,4	9,6	VALORES DOS ENSAIOS					N <sub>PTM</sub> médio	0	22	37	55	N <sub>SP</sub>	0	21	35	52	TIPOS DE SOLO						Livre	Comprimento livre da microestaca				ZG4	Areia				ZG3	Areia				ZG2	Areia				ZG1	Areia			Classificação global do solo LIZZI	Solos rígidos, cascalhos e areias				PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA					γ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20	c' (kPa)	0	0	0	0	φ' (°)	27,10	33,15	37,00	41,33	OUTROS PARÂMETROS					OCR	1	1	1	1	E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52	p <sub>lim</sub> (MPa)	0	1,05	1,76	2,62	E <sub>s</sub> (MPa)	0	8,70	15,49	23,63	α <sub>s</sub>	#####	0,33	0,33	0,33	3.2. Defina a Injeção da calda e outros parâmetros					TIPO	IGU				Pressão da injeção	0,50 MPa				Condição estrutural	Nova estrutura				Fator de influência (solo-estrutura) que minorra o φ	1				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>FATOR DE SEGURANÇA</th><th>ESTADO LIMITE</th></tr> <tr><td>FS carga crítica</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>FS tensão no aço</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>FS seção da raiz</td><td>2,00</td></tr> <tr><td>γ<sub>sd</sub> - carga</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>γ<sub>sd</sub> - atrito</td><td>1,25</td></tr> <tr><td>γ<sub>sd</sub> - coesão</td><td>1,25</td></tr> <tr><td>γ<sub>sd</sub> - raiz total</td><td>1,50</td></tr> <tr><td>γ<sub>sd</sub> - raiz ponta</td><td>1,60</td></tr> <tr><td>γ<sub>sd</sub> - raiz lateral</td><td>1,30</td></tr> <tr><td>γ<sub>sd</sub> - aço</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>γ<sub>sd</sub> - calda</td><td>1,50</td></tr> </table>	FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE	FS carga crítica	1,00	FS tensão no aço	1,00	FS seção da raiz	2,00	γ <sub>sd</sub> - carga	1,00	γ <sub>sd</sub> - atrito	1,25	γ <sub>sd</sub> - coesão	1,25	γ <sub>sd</sub> - raiz total	1,50	γ <sub>sd</sub> - raiz ponta	1,60	γ <sub>sd</sub> - raiz lateral	1,30	γ <sub>sd</sub> - aço	1,00	γ <sub>sd</sub> - calda	1,50
Diâmetro de Perfuração	0,120	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Diâmetro efetivo*	0,154	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Comprimento cabeça*	2,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Comprimento livre	2,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Comprimento raiz	13,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Considerar ZG4 como referência	NÃO																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Comprimento efetivo*	8,50	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Comprimento TOTAL	15,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Rigidez a flexão raiz	546,53	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Rigidez a flexão seção interna	347,38	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
2.1. Informações do Calda de cimento																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Módulo de Elasticidade	28	Gpa																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Momento de Inércia	1,63E-06	m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Rigidez a flexão	45,61	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Área de Concreto seção interna	0,0045	m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
f <sub>ck</sub> (MPa)	25	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
γ <sub>c</sub>	1,5																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
f <sub>cd</sub> (MPa)	16,67	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
2.2. Informações do aço da Armadura Tubular																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Diâmetro exterior	0,0889	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Espessura	0,0065	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Módulo de Elasticidade	210	Gpa																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Diâmetro interior	0,0759	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Momento de Inércia	1,44E-06	m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Rigidez a flexão	301,76	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Área de aço	1,68E-03	m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
f <sub>yk</sub>	595	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
γ <sub>s</sub>	1,00																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
f <sub>sd</sub>	595,00	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Euler e Pierre Souche																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Pierre Souche																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
m	5,587																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
w	0,133																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
2.4. Definir CORROSÃO																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
CORROSÃO	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Tempo de vida útil	50 anos																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
F <sub>u,t</sub>	0,5																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003 m																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
3.1. Informações do Solo																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
PROFUNDIDADES DE SOLO																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Zona Geotécnica	4	3	2	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	20,0																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0	2,9	2,4	9,6																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
VALORES DOS ENSAIOS																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
N <sub>PTM</sub> médio	0	22	37	55																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
N <sub>SP</sub>	0	21	35	52																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
TIPOS DE SOLO																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	Livre	Comprimento livre da microestaca																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	ZG4	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	ZG3	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	ZG2	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	ZG1	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Classificação global do solo LIZZI	Solos rígidos, cascalhos e areias																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
γ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
c' (kPa)	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
φ' (°)	27,10	33,15	37,00	41,33																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
OUTROS PARÂMETROS																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
OCR	1	1	1	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
p <sub>lim</sub> (MPa)	0	1,05	1,76	2,62																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
E <sub>s</sub> (MPa)	0	8,70	15,49	23,63																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
α <sub>s</sub>	#####	0,33	0,33	0,33																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
3.2. Defina a Injeção da calda e outros parâmetros																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
TIPO	IGU																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Pressão da injeção	0,50 MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Condição estrutural	Nova estrutura																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Fator de influência (solo-estrutura) que minorra o φ	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
FS carga crítica	1,00																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
FS tensão no aço	1,00																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
FS seção da raiz	2,00																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
γ <sub>sd</sub> - carga	1,00																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
γ <sub>sd</sub> - atrito	1,25																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
γ <sub>sd</sub> - coesão	1,25																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
γ <sub>sd</sub> - raiz total	1,50																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
γ <sub>sd</sub> - raiz ponta	1,60																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
γ <sub>sd</sub> - raiz lateral	1,30																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
γ <sub>sd</sub> - aço	1,00																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
γ <sub>sd</sub> - calda	1,50																																																																																																																																																																																																																																																																																																				

Figura 130 - Informações paramétricas - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 120 mm.

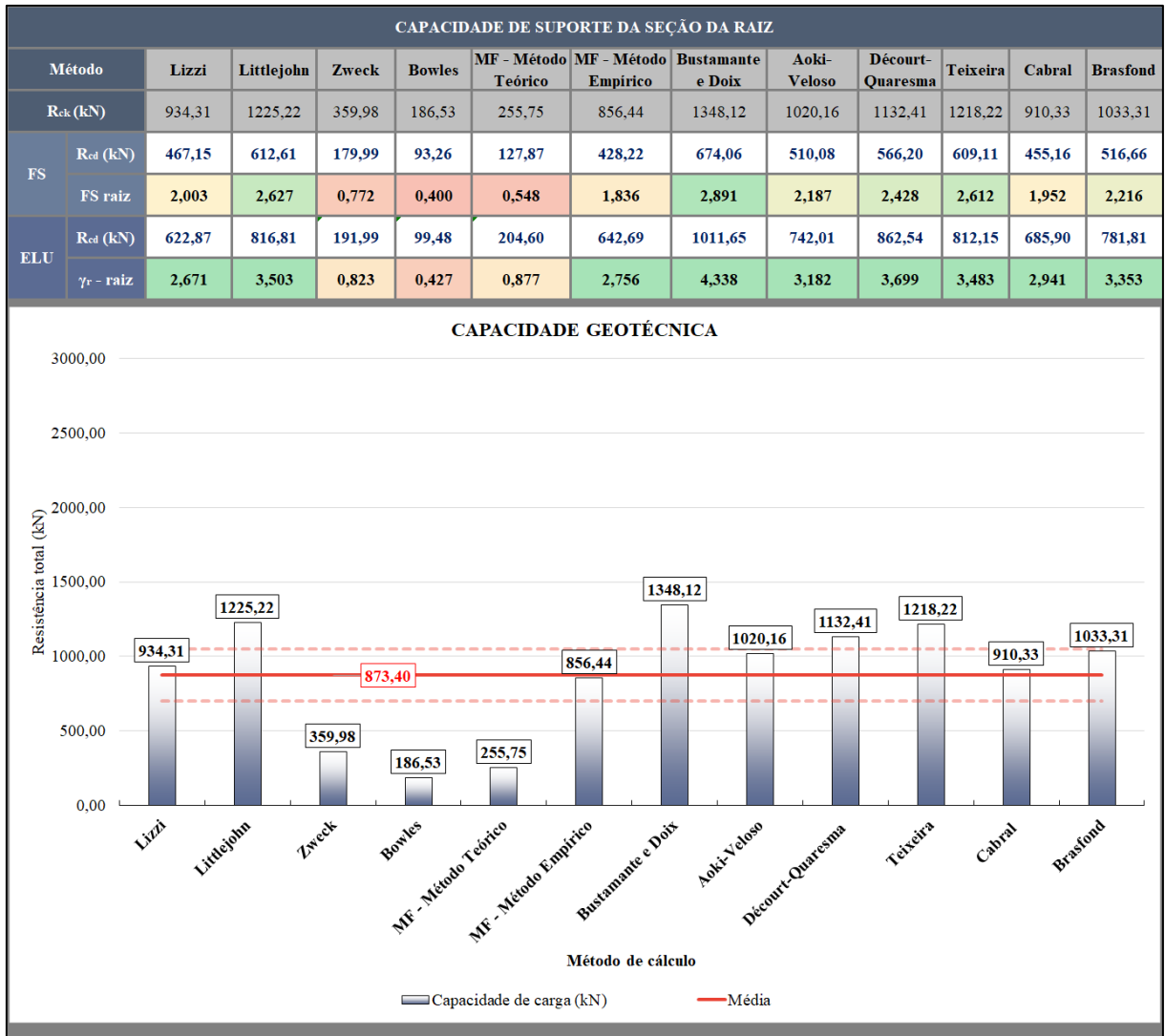



Figura 131 - Resultados - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 120 mm.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

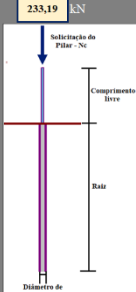
1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA																																																																																																																																																																																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Diâmetro de Perforação</td><td>0,140</td><td>m</td></tr> <tr><td>Diâmetro efetivo*</td><td>0,154</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento cabeça*</td><td>2,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento livre</td><td>2,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento raiz</td><td>13,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Considerar ZG4 como referência</td><td>NÃO</td><td></td></tr> <tr><td>Comprimento efetivo*</td><td>8,50</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento TOTAL</td><td>15,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão raiz</td><td>789,54</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão seção interna</td><td>347,38</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> </table> <p><small>Diâmetro efetivo Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.</small></p> <p><small>Comprimento cabeça Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.</small></p> <p><small>Comprimento efetivo L<sub>efetivo</sub> = L<sub>livre</sub> + L<sub>cabeça</sub></small></p>	Diâmetro de Perforação	0,140	m	Diâmetro efetivo*	0,154	m	Comprimento cabeça*	2,00	m	Comprimento livre	2,00	m	Comprimento raiz	13,00	m	Considerar ZG4 como referência	NÃO		Comprimento efetivo*	8,50	m	Comprimento TOTAL	15,00	m	Rigidez a flexão raiz	789,54	kNm <sup>2</sup>	Rigidez a flexão seção interna	347,38	kNm <sup>2</sup>	 <p>233,19 kN</p> <p>Solicitação do Pilar, Nc</p> <p>Comprimento livre</p> <p>Raiz</p> <p>Diâmetro de perfuração</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">2.1. Informações do <b>Calda de cimento</b></th></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>28 Gpa</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>1,63E-06 m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>45,61 kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de Concreto seção interna</td><td>0,0045 m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>f<sub>ck</sub> (MPa)</td><td>25 MPa</td></tr> <tr><td>γc</td><td>1,5</td></tr> <tr><td>f<sub>cd</sub> (MPa)</td><td>16,67 MPa</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">2.2. Informações do <b> aço da Armadura Tubular</b></th></tr> <tr><td>Diâmetro exterior</td><td>0,0889 m</td></tr> <tr><td>Espessura</td><td>0,0065 m</td></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>210 Gpa</td></tr> <tr><td>Diâmetro interior</td><td>0,0759 m</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>1,44E-06 m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>301,76 kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de aço</td><td>1,68E-03 m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>f<sub>yk</sub></td><td>595 MPa</td></tr> <tr><td>γs</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>f<sub>sd</sub></td><td>595,00 MPa</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">2.3. Parâmetros individuais de cada <b>MÉTODO</b></th></tr> <tr><th colspan="2">Euler e Pierre Souche</th></tr> <tr><td>Rigidez da mola Winkler</td><td>6 MN/m<sup>3</sup></td></tr> <tr><th colspan="2">Pierre Souche</th></tr> <tr><td>m</td><td>5,587</td></tr> <tr><td>w</td><td>0,133</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;"><b>ABACOS DE SOUCHE</b></td></tr> <tr><td></td><td style="text-align: center;">42</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">2.4. Definir <b>CORROSÃO</b></th></tr> <tr><td>CORROSÃO</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Tempo de vida útil</td><td>50 anos</td></tr> <tr><td>F<sub>u,t</sub></td><td>0,5</td></tr> <tr><td>Perda de espessura do tubo corrosão</td><td>0,0003 m</td></tr> </table>	2.1. Informações do <b>Calda de cimento</b>		Módulo de Elasticidade	28 Gpa	Momento de Inércia	1,63E-06 m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	45,61 kNm <sup>2</sup>	Área de Concreto seção interna	0,0045 m <sup>2</sup>	f <sub>ck</sub> (MPa)	25 MPa	γc	1,5	f <sub>cd</sub> (MPa)	16,67 MPa	2.2. Informações do <b> aço da Armadura Tubular</b>		Diâmetro exterior	0,0889 m	Espessura	0,0065 m	Módulo de Elasticidade	210 Gpa	Diâmetro interior	0,0759 m	Momento de Inércia	1,44E-06 m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	301,76 kNm <sup>2</sup>	Área de aço	1,68E-03 m <sup>2</sup>	f <sub>yk</sub>	595 MPa	γs	1,00	f <sub>sd</sub>	595,00 MPa	2.3. Parâmetros individuais de cada <b>MÉTODO</b>		Euler e Pierre Souche		Rigidez da mola Winkler	6 MN/m <sup>3</sup>	Pierre Souche		m	5,587	w	0,133	<b>ABACOS DE SOUCHE</b>			42	2.4. Definir <b>CORROSÃO</b>		CORROSÃO	<input checked="" type="checkbox"/>	Tempo de vida útil	50 anos	F <sub>u,t</sub>	0,5	Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003 m	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">3.1. Informações do <b>Solo</b></th></tr> <tr><th colspan="4">PROFUNDIDADES DE SOLO</th></tr> <tr><td>Zona Geotécnica</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)</td><td>5,1</td><td>8,0</td><td>10,4</td><td>20,0</td></tr> <tr><td>Altura (m) (CAMADA DO SOLO)</td><td>0</td><td>2,9</td><td>2,4</td><td>9,6</td></tr> <tr><th colspan="4">VALORES DOS ENSAIOS</th></tr> <tr><td>N<sub>FDM</sub> solo</td><td>0</td><td>22</td><td>37</td><td>55</td></tr> <tr><td>N<sub>SPT</sub></td><td>0</td><td>21</td><td>35</td><td>52</td></tr> <tr><th colspan="4">TIPOS DE SOLO</th></tr> <tr><td>L<sub>livre</sub></td><td colspan="3">Comprimento livre da microestaca</td></tr> <tr><td>ZG4</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td>ZG3</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td>ZG2</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td>ZG1</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td colspan="4">Classificação global do solo LIZZI</td></tr> <tr><td colspan="4">Solos rígidos, cascalhos e areias</td></tr> <tr><th colspan="4">PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA</th></tr> <tr><td>γ (kN/m<sup>3</sup>)</td><td>0</td><td>19</td><td>20</td><td>20</td></tr> <tr><td>c' (kPa)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>φ' (°)</td><td>27,10</td><td>33,15</td><td>37,00</td><td>41,33</td></tr> <tr><th colspan="4">OUTROS PARÂMETROS</th></tr> <tr><td>OCR</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>E (MPa)</td><td>0</td><td>92,49</td><td>140,20</td><td>192,52</td></tr> <tr><td>p<sub>lim</sub> (MPa)</td><td>0</td><td>1,05</td><td>1,76</td><td>2,62</td></tr> <tr><td>E<sub>s</sub> (MPa)</td><td>0</td><td>8,70</td><td>15,49</td><td>23,63</td></tr> <tr><td>α<sub>s</sub></td><td>#####</td><td>0,33</td><td>0,33</td><td>0,33</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">3.2. Definir a <b>Injeção da calda</b> e outros <b>parâmetros</b></th></tr> <tr><td>TIPO</td><td>IGU</td></tr> <tr><td>Pressão da injeção</td><td>0,50 MPa</td></tr> <tr><td>Condição estrutural</td><td>Nova estrutura</td></tr> <tr><td>Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ</td><td>1</td></tr> </table>	3.1. Informações do <b>Solo</b>		PROFUNDIDADES DE SOLO				Zona Geotécnica	4	3	2	1	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	20,0	Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0	2,9	2,4	9,6	VALORES DOS ENSAIOS				N <sub>FDM</sub> solo	0	22	37	55	N <sub>SPT</sub>	0	21	35	52	TIPOS DE SOLO				L <sub>livre</sub>	Comprimento livre da microestaca			ZG4	Areia			ZG3	Areia			ZG2	Areia			ZG1	Areia			Classificação global do solo LIZZI				Solos rígidos, cascalhos e areias				PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA				γ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20	c' (kPa)	0	0	0	0	φ' (°)	27,10	33,15	37,00	41,33	OUTROS PARÂMETROS				OCR	1	1	1	1	E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52	p <sub>lim</sub> (MPa)	0	1,05	1,76	2,62	E <sub>s</sub> (MPa)	0	8,70	15,49	23,63	α <sub>s</sub>	#####	0,33	0,33	0,33	3.2. Definir a <b>Injeção da calda</b> e outros <b>parâmetros</b>		TIPO	IGU	Pressão da injeção	0,50 MPa	Condição estrutural	Nova estrutura	Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ	1	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>FATOR DE SEGURANÇA</th><th>ESTADO LIMITE</th></tr> <tr><td>FS carga crítica</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>FS atrito</td><td>1,25</td></tr> <tr><td>FS seção da raiz</td><td>2,00</td></tr> <tr><td>γ<sub>af</sub> - carga</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>γ<sub>at</sub> - atrito</td><td>1,25</td></tr> <tr><td>γ<sub>sc</sub> - coesão</td><td>1,25</td></tr> <tr><td>γ<sub>st</sub> - raiz total</td><td>1,50</td></tr> <tr><td>γ<sub>sp</sub> - raiz ponta</td><td>1,60</td></tr> <tr><td>γ<sub>sl</sub> - raiz lateral</td><td>1,30</td></tr> <tr><td>γ<sub>sa</sub> - aço</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>γ<sub>sc</sub> - calda</td><td>1,50</td></tr> </table>	FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE	FS carga crítica	1,00	FS atrito	1,25	FS seção da raiz	2,00	γ <sub>af</sub> - carga	1,00	γ <sub>at</sub> - atrito	1,25	γ <sub>sc</sub> - coesão	1,25	γ <sub>st</sub> - raiz total	1,50	γ <sub>sp</sub> - raiz ponta	1,60	γ <sub>sl</sub> - raiz lateral	1,30	γ <sub>sa</sub> - aço	1,00	γ <sub>sc</sub> - calda	1,50
Diâmetro de Perforação	0,140	m																																																																																																																																																																																																																																																					
Diâmetro efetivo*	0,154	m																																																																																																																																																																																																																																																					
Comprimento cabeça*	2,00	m																																																																																																																																																																																																																																																					
Comprimento livre	2,00	m																																																																																																																																																																																																																																																					
Comprimento raiz	13,00	m																																																																																																																																																																																																																																																					
Considerar ZG4 como referência	NÃO																																																																																																																																																																																																																																																						
Comprimento efetivo*	8,50	m																																																																																																																																																																																																																																																					
Comprimento TOTAL	15,00	m																																																																																																																																																																																																																																																					
Rigidez a flexão raiz	789,54	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																					
Rigidez a flexão seção interna	347,38	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																					
2.1. Informações do <b>Calda de cimento</b>																																																																																																																																																																																																																																																							
Módulo de Elasticidade	28 Gpa																																																																																																																																																																																																																																																						
Momento de Inércia	1,63E-06 m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																																						
Rigidez a flexão	45,61 kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																						
Área de Concreto seção interna	0,0045 m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																						
f <sub>ck</sub> (MPa)	25 MPa																																																																																																																																																																																																																																																						
γc	1,5																																																																																																																																																																																																																																																						
f <sub>cd</sub> (MPa)	16,67 MPa																																																																																																																																																																																																																																																						
2.2. Informações do <b> aço da Armadura Tubular</b>																																																																																																																																																																																																																																																							
Diâmetro exterior	0,0889 m																																																																																																																																																																																																																																																						
Espessura	0,0065 m																																																																																																																																																																																																																																																						
Módulo de Elasticidade	210 Gpa																																																																																																																																																																																																																																																						
Diâmetro interior	0,0759 m																																																																																																																																																																																																																																																						
Momento de Inércia	1,44E-06 m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																																						
Rigidez a flexão	301,76 kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																						
Área de aço	1,68E-03 m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																						
f <sub>yk</sub>	595 MPa																																																																																																																																																																																																																																																						
γs	1,00																																																																																																																																																																																																																																																						
f <sub>sd</sub>	595,00 MPa																																																																																																																																																																																																																																																						
2.3. Parâmetros individuais de cada <b>MÉTODO</b>																																																																																																																																																																																																																																																							
Euler e Pierre Souche																																																																																																																																																																																																																																																							
Rigidez da mola Winkler	6 MN/m <sup>3</sup>																																																																																																																																																																																																																																																						
Pierre Souche																																																																																																																																																																																																																																																							
m	5,587																																																																																																																																																																																																																																																						
w	0,133																																																																																																																																																																																																																																																						
<b>ABACOS DE SOUCHE</b>																																																																																																																																																																																																																																																							
	42																																																																																																																																																																																																																																																						
2.4. Definir <b>CORROSÃO</b>																																																																																																																																																																																																																																																							
CORROSÃO	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																																						
Tempo de vida útil	50 anos																																																																																																																																																																																																																																																						
F <sub>u,t</sub>	0,5																																																																																																																																																																																																																																																						
Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003 m																																																																																																																																																																																																																																																						
3.1. Informações do <b>Solo</b>																																																																																																																																																																																																																																																							
PROFUNDIDADES DE SOLO																																																																																																																																																																																																																																																							
Zona Geotécnica	4	3	2	1																																																																																																																																																																																																																																																			
Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	20,0																																																																																																																																																																																																																																																			
Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0	2,9	2,4	9,6																																																																																																																																																																																																																																																			
VALORES DOS ENSAIOS																																																																																																																																																																																																																																																							
N <sub>FDM</sub> solo	0	22	37	55																																																																																																																																																																																																																																																			
N <sub>SPT</sub>	0	21	35	52																																																																																																																																																																																																																																																			
TIPOS DE SOLO																																																																																																																																																																																																																																																							
L <sub>livre</sub>	Comprimento livre da microestaca																																																																																																																																																																																																																																																						
ZG4	Areia																																																																																																																																																																																																																																																						
ZG3	Areia																																																																																																																																																																																																																																																						
ZG2	Areia																																																																																																																																																																																																																																																						
ZG1	Areia																																																																																																																																																																																																																																																						
Classificação global do solo LIZZI																																																																																																																																																																																																																																																							
Solos rígidos, cascalhos e areias																																																																																																																																																																																																																																																							
PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA																																																																																																																																																																																																																																																							
γ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20																																																																																																																																																																																																																																																			
c' (kPa)	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																			
φ' (°)	27,10	33,15	37,00	41,33																																																																																																																																																																																																																																																			
OUTROS PARÂMETROS																																																																																																																																																																																																																																																							
OCR	1	1	1	1																																																																																																																																																																																																																																																			
E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52																																																																																																																																																																																																																																																			
p <sub>lim</sub> (MPa)	0	1,05	1,76	2,62																																																																																																																																																																																																																																																			
E <sub>s</sub> (MPa)	0	8,70	15,49	23,63																																																																																																																																																																																																																																																			
α <sub>s</sub>	#####	0,33	0,33	0,33																																																																																																																																																																																																																																																			
3.2. Definir a <b>Injeção da calda</b> e outros <b>parâmetros</b>																																																																																																																																																																																																																																																							
TIPO	IGU																																																																																																																																																																																																																																																						
Pressão da injeção	0,50 MPa																																																																																																																																																																																																																																																						
Condição estrutural	Nova estrutura																																																																																																																																																																																																																																																						
Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ	1																																																																																																																																																																																																																																																						
FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE																																																																																																																																																																																																																																																						
FS carga crítica	1,00																																																																																																																																																																																																																																																						
FS atrito	1,25																																																																																																																																																																																																																																																						
FS seção da raiz	2,00																																																																																																																																																																																																																																																						
γ <sub>af</sub> - carga	1,00																																																																																																																																																																																																																																																						
γ <sub>at</sub> - atrito	1,25																																																																																																																																																																																																																																																						
γ <sub>sc</sub> - coesão	1,25																																																																																																																																																																																																																																																						
γ <sub>st</sub> - raiz total	1,50																																																																																																																																																																																																																																																						
γ <sub>sp</sub> - raiz ponta	1,60																																																																																																																																																																																																																																																						
γ <sub>sl</sub> - raiz lateral	1,30																																																																																																																																																																																																																																																						
γ <sub>sa</sub> - aço	1,00																																																																																																																																																																																																																																																						
γ <sub>sc</sub> - calda	1,50																																																																																																																																																																																																																																																						

Figura 132 - Informações paramétricas - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 140 mm.

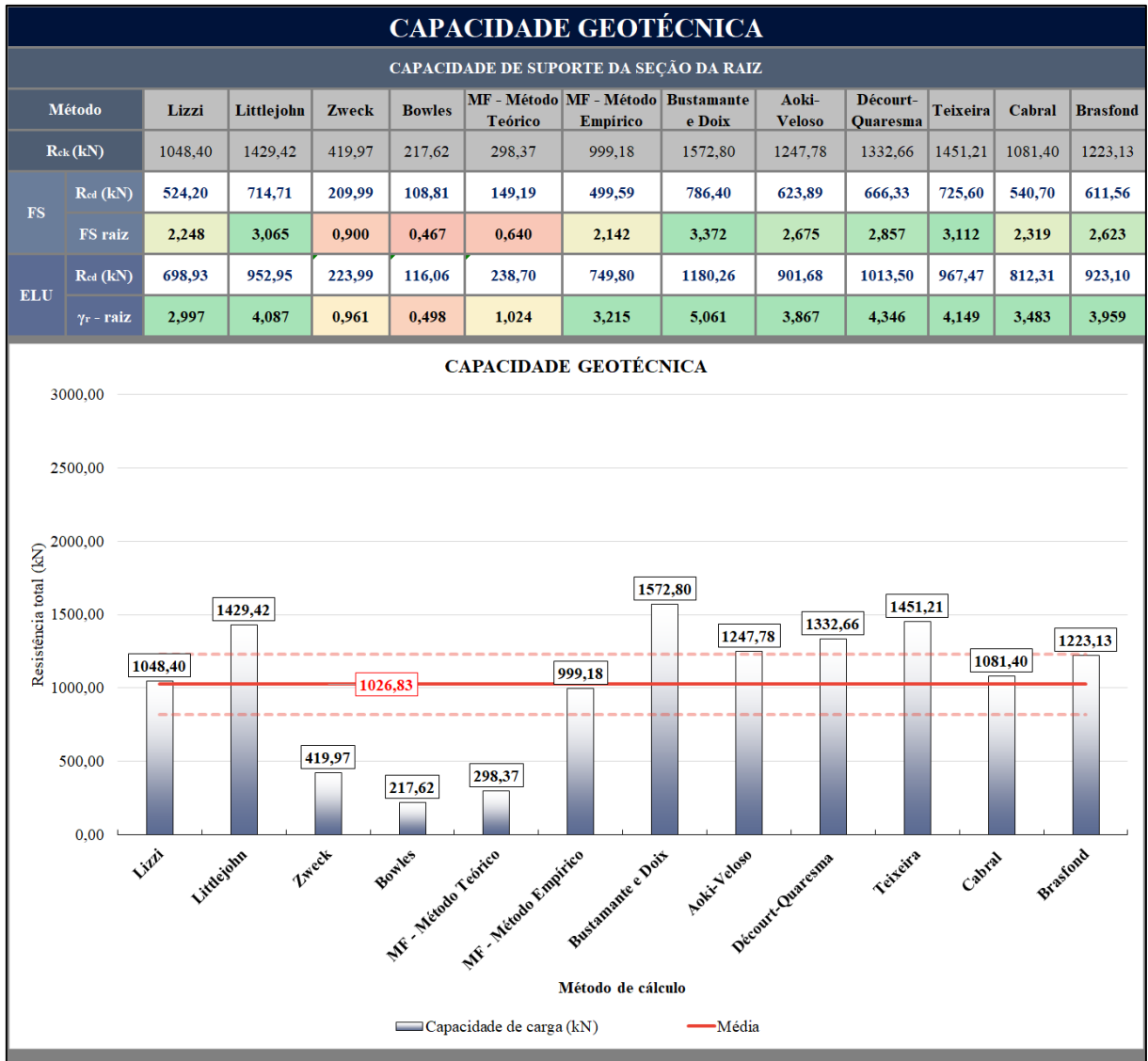



Figura 133 - Resultados - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 140 mm.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

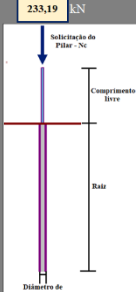
1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA																																																																																																																																																																																																																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Diâmetro de Perforação</td><td>0,160</td><td>m</td></tr> <tr><td>Diâmetro efetivo*</td><td>0,154</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento cabeça*</td><td>2,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento livre</td><td>2,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento raiz</td><td>13,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Considerar ZG4 como referência</td><td>NÃO</td><td></td></tr> <tr><td>Comprimento efetivo*</td><td>8,50</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento TOTAL</td><td>15,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão raiz</td><td>1162,29</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão seção interna</td><td>347,38</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> </table> <p><small>Diâmetro efetivo: Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração. Comprimento cabeça: Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre. Comprimento efetivo: <math>L_{efetivo} = L_{livre} + L_{cabeça}</math></small></p>	Diâmetro de Perforação	0,160	m	Diâmetro efetivo*	0,154	m	Comprimento cabeça*	2,00	m	Comprimento livre	2,00	m	Comprimento raiz	13,00	m	Considerar ZG4 como referência	NÃO		Comprimento efetivo*	8,50	m	Comprimento TOTAL	15,00	m	Rigidez a flexão raiz	1162,29	kNm <sup>2</sup>	Rigidez a flexão seção interna	347,38	kNm <sup>2</sup>	 <p>233,19 kN</p> <p>Solicitação do Pilar, Nc</p> <p>Comprimento livre</p> <p>Raiz</p> <p>Diâmetro de perfuração</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">2.1. Informações do <b>Calda de cimento</b></th></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>28 Gpa</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>1,63E-06 m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>45,61 kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de Concreto seção interna</td><td>0,0045 m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>f_{ck}</math> (MPa)</td><td>25</td></tr> <tr><td><math>\gamma_c</math></td><td>1,5</td></tr> <tr><td><math>f_{cd}</math> (MPa)</td><td>16,67</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">2.2. Informações do <b> aço da Armadura Tubular</b></th></tr> <tr><td>Diâmetro exterior</td><td>0,0889 m</td></tr> <tr><td>Espessura</td><td>0,0065 m</td></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>210 Gpa</td></tr> <tr><td>Diâmetro interior</td><td>0,0759 m</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>1,44E-06 m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>301,76 kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de aço</td><td>1,68E-03 m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>f_{yk}</math></td><td>595 MPa</td></tr> <tr><td><math>\gamma_s</math></td><td>1,00</td></tr> <tr><td><math>f_{sd}</math></td><td>595,00 MPa</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">2.3. Parâmetros individuais de cada <b>MÉTODO</b></th></tr> <tr><th colspan="2">Euler e Pierre Souche</th></tr> <tr><td>Rigidez da mola Winkler</td><td>6 MN/m<sup>3</sup></td></tr> <tr><th colspan="2">Pierre Souche</th></tr> <tr><td>m</td><td>5,505</td></tr> <tr><td>w</td><td>0,133</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;"><b>ABACOS DE SOUCHE</b></td></tr> <tr><td></td><td>42</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">2.4. Definir <b>CORROSÃO</b></th></tr> <tr><td>CORROSÃO</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Tempo de vida útil</td><td>50 anos</td></tr> <tr><td><math>F_{u,t}</math></td><td>0,5</td></tr> <tr><td>Perda de espessura do tubo corrosão</td><td>0,0003 m</td></tr> </table>	2.1. Informações do <b>Calda de cimento</b>		Módulo de Elasticidade	28 Gpa	Momento de Inércia	1,63E-06 m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	45,61 kNm <sup>2</sup>	Área de Concreto seção interna	0,0045 m <sup>2</sup>	$f_{ck}$ (MPa)	25	$\gamma_c$	1,5	$f_{cd}$ (MPa)	16,67	2.2. Informações do <b> aço da Armadura Tubular</b>		Diâmetro exterior	0,0889 m	Espessura	0,0065 m	Módulo de Elasticidade	210 Gpa	Diâmetro interior	0,0759 m	Momento de Inércia	1,44E-06 m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	301,76 kNm <sup>2</sup>	Área de aço	1,68E-03 m <sup>2</sup>	$f_{yk}$	595 MPa	$\gamma_s$	1,00	$f_{sd}$	595,00 MPa	2.3. Parâmetros individuais de cada <b>MÉTODO</b>		Euler e Pierre Souche		Rigidez da mola Winkler	6 MN/m <sup>3</sup>	Pierre Souche		m	5,505	w	0,133	<b>ABACOS DE SOUCHE</b>			42	2.4. Definir <b>CORROSÃO</b>		CORROSÃO	<input type="checkbox"/>	Tempo de vida útil	50 anos	$F_{u,t}$	0,5	Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003 m	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">3.1. Informações do <b>Solo</b></th></tr> <tr><th colspan="4">PROFUNDIDADES DE SOLO</th></tr> <tr><td>Zona Geotécnica</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)</td><td>5,1</td><td>8,0</td><td>10,4</td><td>20,0</td></tr> <tr><td>Altura (m) (CAMADA DO SOLO)</td><td>0</td><td>2,9</td><td>2,4</td><td>9,6</td></tr> <tr><th colspan="4">VALORES DOS ENSAIOS</th></tr> <tr><td>NPM solo</td><td>0</td><td>22</td><td>37</td><td>55</td></tr> <tr><td>N<sub>SP7</sub></td><td>0</td><td>21</td><td>35</td><td>52</td></tr> <tr><th colspan="4">TIPOS DE SOLO</th></tr> <tr><td>Libre</td><td colspan="3">Comprimento livre da microestaca</td></tr> <tr><td>ZG4</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td>ZG3</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td>ZG2</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td>ZG1</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td colspan="4">Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias</td></tr> <tr><th colspan="4">PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA</th></tr> <tr><td><math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</td><td>0</td><td>19</td><td>20</td><td>20</td></tr> <tr><td><math>c'</math> (kPa)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td><math>\phi'</math> (°)</td><td>27,10</td><td>33,15</td><td>37,00</td><td>41,33</td></tr> <tr><th colspan="4">OUTROS PARÂMETROS</th></tr> <tr><td>OCR</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>E (MPa)</td><td>0</td><td>92,49</td><td>140,20</td><td>192,52</td></tr> <tr><td><math>\mu_{int}</math> (MPa)</td><td>0</td><td>1,05</td><td>1,76</td><td>2,62</td></tr> <tr><td><math>E_{s0}</math> (MPa)</td><td>0</td><td>8,70</td><td>15,49</td><td>23,63</td></tr> <tr><td><math>\alpha_c</math></td><td>#####</td><td>0,33</td><td>0,33</td><td>0,33</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">3.2. Define a <b>Injeção da calda</b> e outros parâmetros</th></tr> <tr><td>TIPO</td><td>IGU</td></tr> <tr><td>Pressão da injeção</td><td>0,50 MPa</td></tr> <tr><td>Condição estrutural</td><td>Nova estrutura</td></tr> <tr><td>Fator de influência (solo-estrutura) que minora o <math>\phi</math></td><td>1</td></tr> </table>	3.1. Informações do <b>Solo</b>		PROFUNDIDADES DE SOLO				Zona Geotécnica	4	3	2	1	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	20,0	Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0	2,9	2,4	9,6	VALORES DOS ENSAIOS				NPM solo	0	22	37	55	N <sub>SP7</sub>	0	21	35	52	TIPOS DE SOLO				Libre	Comprimento livre da microestaca			ZG4	Areia			ZG3	Areia			ZG2	Areia			ZG1	Areia			Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias				PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA				$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20	$c'$ (kPa)	0	0	0	0	$\phi'$ (°)	27,10	33,15	37,00	41,33	OUTROS PARÂMETROS				OCR	1	1	1	1	E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52	$\mu_{int}$ (MPa)	0	1,05	1,76	2,62	$E_{s0}$ (MPa)	0	8,70	15,49	23,63	$\alpha_c$	#####	0,33	0,33	0,33	3.2. Define a <b>Injeção da calda</b> e outros parâmetros		TIPO	IGU	Pressão da injeção	0,50 MPa	Condição estrutural	Nova estrutura	Fator de influência (solo-estrutura) que minora o $\phi$	1	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>FATOR DE SEGURANÇA</th><th>ESTADO LIMITE</th></tr> <tr><td>FS carga crítica</td><td>1,00 <math>\gamma_{ul}</math> - carga</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>FS tensão no aço</td><td>1,00 <math>\gamma_{ms}</math> - atrito</td><td>1,25</td></tr> <tr><td>FS seção da raiz</td><td>2,00 <math>\gamma_{ms}</math> - coesão</td><td>1,25</td></tr> <tr><td></td><td><math>\gamma_{st}</math> - raiz total</td><td>1,50</td></tr> <tr><td></td><td><math>\gamma_{st}</math> - raiz ponta</td><td>1,60</td></tr> <tr><td></td><td><math>\gamma_{st}</math> - raiz lateral</td><td>1,30</td></tr> <tr><td></td><td><math>\gamma_{st}</math> - aço</td><td>1,00</td></tr> <tr><td></td><td><math>\gamma_{st}</math> - calda</td><td>1,50</td></tr> </table>	FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE	FS carga crítica	1,00 $\gamma_{ul}$ - carga	1,00	FS tensão no aço	1,00 $\gamma_{ms}$ - atrito	1,25	FS seção da raiz	2,00 $\gamma_{ms}$ - coesão	1,25		$\gamma_{st}$ - raiz total	1,50		$\gamma_{st}$ - raiz ponta	1,60		$\gamma_{st}$ - raiz lateral	1,30		$\gamma_{st}$ - aço	1,00		$\gamma_{st}$ - calda	1,50
Diâmetro de Perforação	0,160	m																																																																																																																																																																																																																																																			
Diâmetro efetivo*	0,154	m																																																																																																																																																																																																																																																			
Comprimento cabeça*	2,00	m																																																																																																																																																																																																																																																			
Comprimento livre	2,00	m																																																																																																																																																																																																																																																			
Comprimento raiz	13,00	m																																																																																																																																																																																																																																																			
Considerar ZG4 como referência	NÃO																																																																																																																																																																																																																																																				
Comprimento efetivo*	8,50	m																																																																																																																																																																																																																																																			
Comprimento TOTAL	15,00	m																																																																																																																																																																																																																																																			
Rigidez a flexão raiz	1162,29	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																			
Rigidez a flexão seção interna	347,38	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																			
2.1. Informações do <b>Calda de cimento</b>																																																																																																																																																																																																																																																					
Módulo de Elasticidade	28 Gpa																																																																																																																																																																																																																																																				
Momento de Inércia	1,63E-06 m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																																				
Rigidez a flexão	45,61 kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																				
Área de Concreto seção interna	0,0045 m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																				
$f_{ck}$ (MPa)	25																																																																																																																																																																																																																																																				
$\gamma_c$	1,5																																																																																																																																																																																																																																																				
$f_{cd}$ (MPa)	16,67																																																																																																																																																																																																																																																				
2.2. Informações do <b> aço da Armadura Tubular</b>																																																																																																																																																																																																																																																					
Diâmetro exterior	0,0889 m																																																																																																																																																																																																																																																				
Espessura	0,0065 m																																																																																																																																																																																																																																																				
Módulo de Elasticidade	210 Gpa																																																																																																																																																																																																																																																				
Diâmetro interior	0,0759 m																																																																																																																																																																																																																																																				
Momento de Inércia	1,44E-06 m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																																				
Rigidez a flexão	301,76 kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																				
Área de aço	1,68E-03 m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																				
$f_{yk}$	595 MPa																																																																																																																																																																																																																																																				
$\gamma_s$	1,00																																																																																																																																																																																																																																																				
$f_{sd}$	595,00 MPa																																																																																																																																																																																																																																																				
2.3. Parâmetros individuais de cada <b>MÉTODO</b>																																																																																																																																																																																																																																																					
Euler e Pierre Souche																																																																																																																																																																																																																																																					
Rigidez da mola Winkler	6 MN/m <sup>3</sup>																																																																																																																																																																																																																																																				
Pierre Souche																																																																																																																																																																																																																																																					
m	5,505																																																																																																																																																																																																																																																				
w	0,133																																																																																																																																																																																																																																																				
<b>ABACOS DE SOUCHE</b>																																																																																																																																																																																																																																																					
	42																																																																																																																																																																																																																																																				
2.4. Definir <b>CORROSÃO</b>																																																																																																																																																																																																																																																					
CORROSÃO	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																																				
Tempo de vida útil	50 anos																																																																																																																																																																																																																																																				
$F_{u,t}$	0,5																																																																																																																																																																																																																																																				
Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003 m																																																																																																																																																																																																																																																				
3.1. Informações do <b>Solo</b>																																																																																																																																																																																																																																																					
PROFUNDIDADES DE SOLO																																																																																																																																																																																																																																																					
Zona Geotécnica	4	3	2	1																																																																																																																																																																																																																																																	
Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	20,0																																																																																																																																																																																																																																																	
Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0	2,9	2,4	9,6																																																																																																																																																																																																																																																	
VALORES DOS ENSAIOS																																																																																																																																																																																																																																																					
NPM solo	0	22	37	55																																																																																																																																																																																																																																																	
N <sub>SP7</sub>	0	21	35	52																																																																																																																																																																																																																																																	
TIPOS DE SOLO																																																																																																																																																																																																																																																					
Libre	Comprimento livre da microestaca																																																																																																																																																																																																																																																				
ZG4	Areia																																																																																																																																																																																																																																																				
ZG3	Areia																																																																																																																																																																																																																																																				
ZG2	Areia																																																																																																																																																																																																																																																				
ZG1	Areia																																																																																																																																																																																																																																																				
Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias																																																																																																																																																																																																																																																					
PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA																																																																																																																																																																																																																																																					
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20																																																																																																																																																																																																																																																	
$c'$ (kPa)	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																	
$\phi'$ (°)	27,10	33,15	37,00	41,33																																																																																																																																																																																																																																																	
OUTROS PARÂMETROS																																																																																																																																																																																																																																																					
OCR	1	1	1	1																																																																																																																																																																																																																																																	
E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52																																																																																																																																																																																																																																																	
$\mu_{int}$ (MPa)	0	1,05	1,76	2,62																																																																																																																																																																																																																																																	
$E_{s0}$ (MPa)	0	8,70	15,49	23,63																																																																																																																																																																																																																																																	
$\alpha_c$	#####	0,33	0,33	0,33																																																																																																																																																																																																																																																	
3.2. Define a <b>Injeção da calda</b> e outros parâmetros																																																																																																																																																																																																																																																					
TIPO	IGU																																																																																																																																																																																																																																																				
Pressão da injeção	0,50 MPa																																																																																																																																																																																																																																																				
Condição estrutural	Nova estrutura																																																																																																																																																																																																																																																				
Fator de influência (solo-estrutura) que minora o $\phi$	1																																																																																																																																																																																																																																																				
FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE																																																																																																																																																																																																																																																				
FS carga crítica	1,00 $\gamma_{ul}$ - carga	1,00																																																																																																																																																																																																																																																			
FS tensão no aço	1,00 $\gamma_{ms}$ - atrito	1,25																																																																																																																																																																																																																																																			
FS seção da raiz	2,00 $\gamma_{ms}$ - coesão	1,25																																																																																																																																																																																																																																																			
	$\gamma_{st}$ - raiz total	1,50																																																																																																																																																																																																																																																			
	$\gamma_{st}$ - raiz ponta	1,60																																																																																																																																																																																																																																																			
	$\gamma_{st}$ - raiz lateral	1,30																																																																																																																																																																																																																																																			
	$\gamma_{st}$ - aço	1,00																																																																																																																																																																																																																																																			
	$\gamma_{st}$ - calda	1,50																																																																																																																																																																																																																																																			

Figura 134 - Informações paramétricas - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 160 mm.

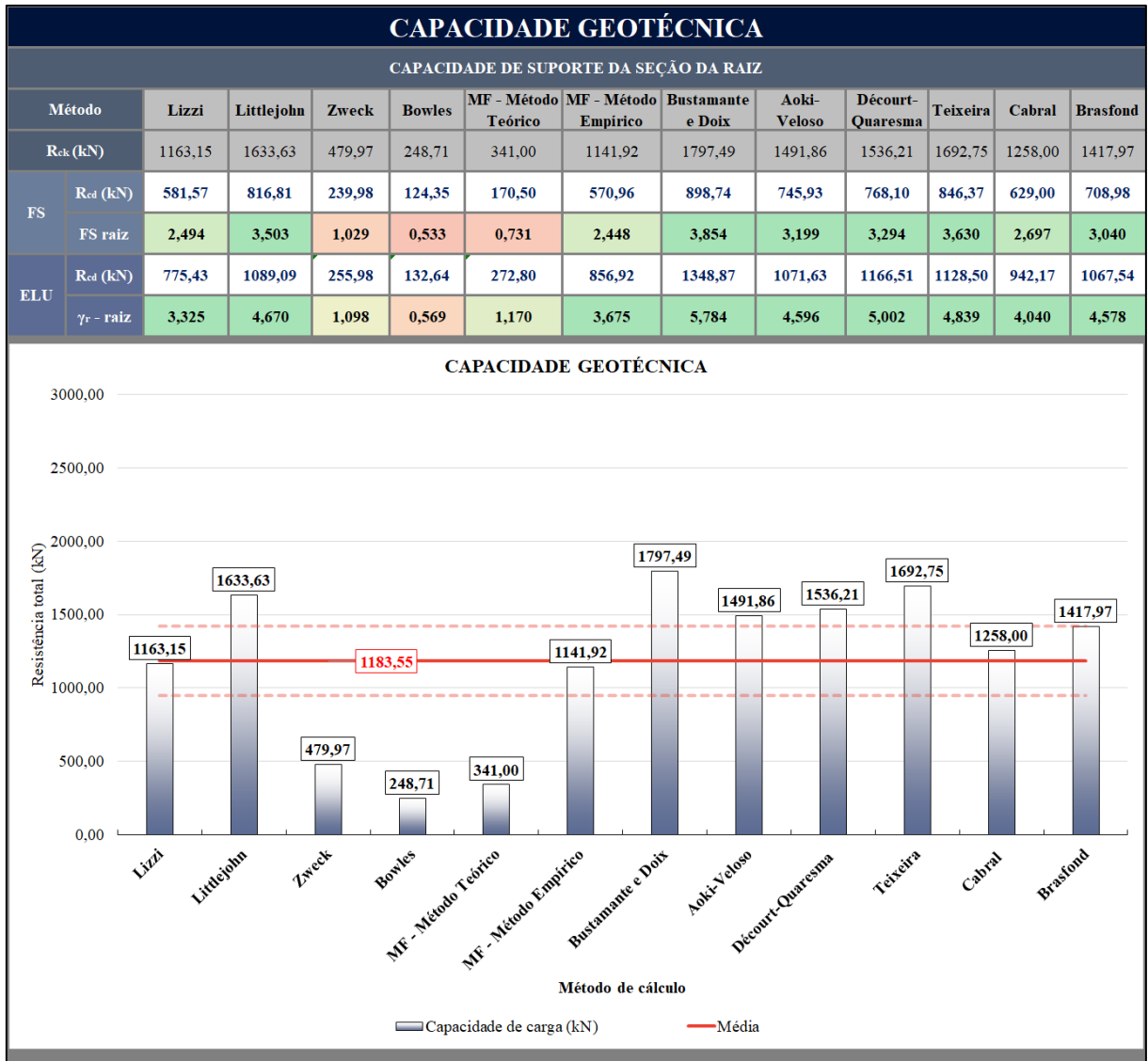



Figura 135 - Resultados - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 160 mm.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

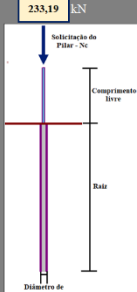
1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Diâmetro de Perforação</td><td>0,180</td><td>m</td></tr> <tr><td>Diâmetro efetivo*</td><td>0,154</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento cabeça*</td><td>2,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento livre</td><td>2,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento raiz</td><td>13,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Considerar ZG4 como referência</td><td>NÃO</td><td></td></tr> <tr><td>Comprimento efetivo*</td><td>8,50</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento TOTAL</td><td>15,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão raiz</td><td>1704,37</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão seção interna</td><td>347,38</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> </table> <p><small>Diâmetro efetivo: Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.</small></p> <p><small>Comprimento cabeça: Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.</small></p> <p><small>Comprimento efetivo: <math>L_{efetivo} = L_{livre} + L_{cabeça}</math></small></p>	Diâmetro de Perforação	0,180	m	Diâmetro efetivo*	0,154	m	Comprimento cabeça*	2,00	m	Comprimento livre	2,00	m	Comprimento raiz	13,00	m	Considerar ZG4 como referência	NÃO		Comprimento efetivo*	8,50	m	Comprimento TOTAL	15,00	m	Rigidez a flexão raiz	1704,37	kNm <sup>2</sup>	Rigidez a flexão seção interna	347,38	kNm <sup>2</sup>	 <p>233,19 kN</p> <p>Solicitação do Pilar, Nc</p> <p>Comprimento livre</p> <p>Raiz</p> <p>Diâmetro de perfuração</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;">2.1. Informações do <b>Calda de cimento</b></td></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>28</td><td>Gpa</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>1,63E-06</td><td>m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>45,61</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de Concreto seção interna</td><td>0,0045</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>f_{ck}</math> (MPa)</td><td>25</td><td>MPa</td></tr> <tr><td><math>\gamma_c</math></td><td>1,5</td><td></td></tr> <tr><td><math>f_{cd}</math> (MPa)</td><td>16,67</td><td>MPa</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;">2.2. Informações do <b> aço da Armadura Tubular</b></td></tr> <tr><td>Diâmetro exterior</td><td>0,0889</td><td>m</td></tr> <tr><td>Espessura</td><td>0,0065</td><td>m</td></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>210</td><td>Gpa</td></tr> <tr><td>Diâmetro interior</td><td>0,0759</td><td>m</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>1,44E-06</td><td>m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>301,76</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de aço</td><td>1,68E-03</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>f_{yk}</math></td><td>595</td><td>MPa</td></tr> <tr><td><math>\gamma_s</math></td><td>1,00</td><td></td></tr> <tr><td><math>f_{sd}</math></td><td>595,00</td><td>MPa</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;">2.3. Parâmetros individuais de cada <b>MÉTODO</b></td></tr> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;">Euler e Pierre Souche</td></tr> <tr><td>Rigidez da mola Winkler</td><td>6</td><td>MN/m<sup>3</sup></td></tr> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;">Pierre Souche</td></tr> <tr><td>m</td><td>5,505</td><td></td></tr> <tr><td>w</td><td>0,133</td><td></td></tr> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;">ABACOS DE SOUCHE</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>42</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;">2.4. Definir <b>CORROSÃO</b></td></tr> <tr><td>CORROSÃO</td><td><input type="checkbox"/></td><td></td></tr> <tr><td>Tempo de vida útil</td><td>50</td><td>anos</td></tr> <tr><td><math>F_{u,t}</math></td><td>0,5</td><td></td></tr> <tr><td>Perda de espessura do tubo corrosão</td><td>0,0003</td><td>m</td></tr> </table>	2.1. Informações do <b>Calda de cimento</b>			Módulo de Elasticidade	28	Gpa	Momento de Inércia	1,63E-06	m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	45,61	kNm <sup>2</sup>	Área de Concreto seção interna	0,0045	m <sup>2</sup>	$f_{ck}$ (MPa)	25	MPa	$\gamma_c$	1,5		$f_{cd}$ (MPa)	16,67	MPa	2.2. Informações do <b> aço da Armadura Tubular</b>			Diâmetro exterior	0,0889	m	Espessura	0,0065	m	Módulo de Elasticidade	210	Gpa	Diâmetro interior	0,0759	m	Momento de Inércia	1,44E-06	m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	301,76	kNm <sup>2</sup>	Área de aço	1,68E-03	m <sup>2</sup>	$f_{yk}$	595	MPa	$\gamma_s$	1,00		$f_{sd}$	595,00	MPa	2.3. Parâmetros individuais de cada <b>MÉTODO</b>			Euler e Pierre Souche			Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>	Pierre Souche			m	5,505		w	0,133		ABACOS DE SOUCHE					42	2.4. Definir <b>CORROSÃO</b>			CORROSÃO	<input type="checkbox"/>		Tempo de vida útil	50	anos	$F_{u,t}$	0,5		Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003	m	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="4" style="text-align: center;">3.1. Informações do <b>Solo</b></td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: center;">PROFUNDIDADES DE SOLO</td></tr> <tr><td>Zona Geotécnica</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)</td><td>5,1</td><td>8,0</td><td>10,4</td><td>20,0</td></tr> <tr><td>Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)</td><td>0</td><td>2,9</td><td>2,4</td><td>9,6</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: center;">VALORES DOS ENSAIOS</td></tr> <tr><td>NPM solo</td><td>0</td><td>22</td><td>37</td><td>55</td></tr> <tr><td>Nspr</td><td>0</td><td>21</td><td>35</td><td>52</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: center;">TIPOS DE SOLO</td></tr> <tr><td>Libre</td><td colspan="3">Comprimento livre da microestaca</td></tr> <tr><td>ZG4</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td>ZG3</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td>ZG2</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td>ZG1</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td colspan="4">Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: center;">PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA</td></tr> <tr><td><math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</td><td>0</td><td>19</td><td>20</td><td>20</td></tr> <tr><td><math>c'</math> (kPa)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td><math>\phi'</math> (°)</td><td>27,10</td><td>33,15</td><td>37,00</td><td>41,33</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: center;">OUTROS PARÂMETROS</td></tr> <tr><td>OCR</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>E (MPa)</td><td>0</td><td>92,49</td><td>140,20</td><td>192,52</td></tr> <tr><td><math>\mu_{int}</math> (MPa)</td><td>0</td><td>1,05</td><td>1,76</td><td>2,62</td></tr> <tr><td><math>E_{s0}</math> (MPa)</td><td>0</td><td>8,70</td><td>15,49</td><td>23,63</td></tr> <tr><td><math>\alpha_c</math></td><td>#####</td><td>0,33</td><td>0,33</td><td>0,33</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: center;">3.2. Defina a <b>Injeção da calda</b> e outros parâmetros</td></tr> <tr><td>TIPO</td><td colspan="3">IGU</td></tr> <tr><td>Pressão da injeção</td><td>0,50</td><td colspan="2">MPa</td></tr> <tr><td>Condição estrutural</td><td colspan="3">Nova estrutura</td></tr> <tr><td>Fator de influência (solo-estrutura) que minora o <math>\phi</math></td><td colspan="3">1</td></tr> </table>	3.1. Informações do <b>Solo</b>				PROFUNDIDADES DE SOLO				Zona Geotécnica	4	3	2	1	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	20,0	Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)	0	2,9	2,4	9,6	VALORES DOS ENSAIOS				NPM solo	0	22	37	55	Nspr	0	21	35	52	TIPOS DE SOLO				Libre	Comprimento livre da microestaca			ZG4	Areia			ZG3	Areia			ZG2	Areia			ZG1	Areia			Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias				PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA				$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20	$c'$ (kPa)	0	0	0	0	$\phi'$ (°)	27,10	33,15	37,00	41,33	OUTROS PARÂMETROS				OCR	1	1	1	1	E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52	$\mu_{int}$ (MPa)	0	1,05	1,76	2,62	$E_{s0}$ (MPa)	0	8,70	15,49	23,63	$\alpha_c$	#####	0,33	0,33	0,33	3.2. Defina a <b>Injeção da calda</b> e outros parâmetros				TIPO	IGU			Pressão da injeção	0,50	MPa		Condição estrutural	Nova estrutura			Fator de influência (solo-estrutura) que minora o $\phi$	1			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>FATOR DE SEGURANÇA</td><td>ESTADO LIMITE</td></tr> <tr><td>FS carga crítica</td><td>1,00</td><td><math>\gamma_{af}</math> - carga</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>FS tensão no aço</td><td>1,00</td><td><math>\gamma_{ms}</math> - atrito</td><td>1,25</td></tr> <tr><td>FS seção da raiz</td><td>2,00</td><td><math>\gamma_{ms}</math> - coesão</td><td>1,25</td></tr> <tr><td></td><td></td><td><math>\gamma_{s}</math> - raiz total</td><td>1,50</td></tr> <tr><td></td><td></td><td><math>\gamma_{s}</math> - raiz ponta</td><td>1,60</td></tr> <tr><td></td><td></td><td><math>\gamma_{l1}</math> - raiz lateral</td><td>1,30</td></tr> <tr><td></td><td></td><td><math>\gamma_{sa}</math> - aço</td><td>1,00</td></tr> <tr><td></td><td></td><td><math>\gamma_{sc}</math> - calda</td><td>1,50</td></tr> </table>	FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE	FS carga crítica	1,00	$\gamma_{af}$ - carga	1,00	FS tensão no aço	1,00	$\gamma_{ms}$ - atrito	1,25	FS seção da raiz	2,00	$\gamma_{ms}$ - coesão	1,25			$\gamma_{s}$ - raiz total	1,50			$\gamma_{s}$ - raiz ponta	1,60			$\gamma_{l1}$ - raiz lateral	1,30			$\gamma_{sa}$ - aço	1,00			$\gamma_{sc}$ - calda	1,50
Diâmetro de Perforação	0,180	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Diâmetro efetivo*	0,154	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Comprimento cabeça*	2,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Comprimento livre	2,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Comprimento raiz	13,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Considerar ZG4 como referência	NÃO																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Comprimento efetivo*	8,50	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Comprimento TOTAL	15,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Rigidez a flexão raiz	1704,37	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Rigidez a flexão seção interna	347,38	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
2.1. Informações do <b>Calda de cimento</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Módulo de Elasticidade	28	Gpa																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Momento de Inércia	1,63E-06	m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Rigidez a flexão	45,61	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Área de Concreto seção interna	0,0045	m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
$f_{ck}$ (MPa)	25	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
$\gamma_c$	1,5																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
$f_{cd}$ (MPa)	16,67	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
2.2. Informações do <b> aço da Armadura Tubular</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Diâmetro exterior	0,0889	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Espessura	0,0065	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Módulo de Elasticidade	210	Gpa																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Diâmetro interior	0,0759	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Momento de Inércia	1,44E-06	m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Rigidez a flexão	301,76	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Área de aço	1,68E-03	m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
$f_{yk}$	595	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
$\gamma_s$	1,00																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
$f_{sd}$	595,00	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
2.3. Parâmetros individuais de cada <b>MÉTODO</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Euler e Pierre Souche																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Pierre Souche																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
m	5,505																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
w	0,133																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
ABACOS DE SOUCHE																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
		42																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
2.4. Definir <b>CORROSÃO</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
CORROSÃO	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Tempo de vida útil	50	anos																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
$F_{u,t}$	0,5																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
3.1. Informações do <b>Solo</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
PROFUNDIDADES DE SOLO																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Zona Geotécnica	4	3	2	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	20,0																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)	0	2,9	2,4	9,6																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
VALORES DOS ENSAIOS																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
NPM solo	0	22	37	55																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Nspr	0	21	35	52																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
TIPOS DE SOLO																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Libre	Comprimento livre da microestaca																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
ZG4	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
ZG3	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
ZG2	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
ZG1	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
$c'$ (kPa)	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
$\phi'$ (°)	27,10	33,15	37,00	41,33																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
OUTROS PARÂMETROS																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
OCR	1	1	1	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
$\mu_{int}$ (MPa)	0	1,05	1,76	2,62																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
$E_{s0}$ (MPa)	0	8,70	15,49	23,63																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
$\alpha_c$	#####	0,33	0,33	0,33																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
3.2. Defina a <b>Injeção da calda</b> e outros parâmetros																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
TIPO	IGU																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Pressão da injeção	0,50	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Condição estrutural	Nova estrutura																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Fator de influência (solo-estrutura) que minora o $\phi$	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
FS carga crítica	1,00	$\gamma_{af}$ - carga	1,00																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
FS tensão no aço	1,00	$\gamma_{ms}$ - atrito	1,25																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
FS seção da raiz	2,00	$\gamma_{ms}$ - coesão	1,25																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
		$\gamma_{s}$ - raiz total	1,50																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
		$\gamma_{s}$ - raiz ponta	1,60																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
		$\gamma_{l1}$ - raiz lateral	1,30																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
		$\gamma_{sa}$ - aço	1,00																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
		$\gamma_{sc}$ - calda	1,50																																																																																																																																																																																																																																																																																																						

Figura 136 - Informações paramétricas - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 180 mm.

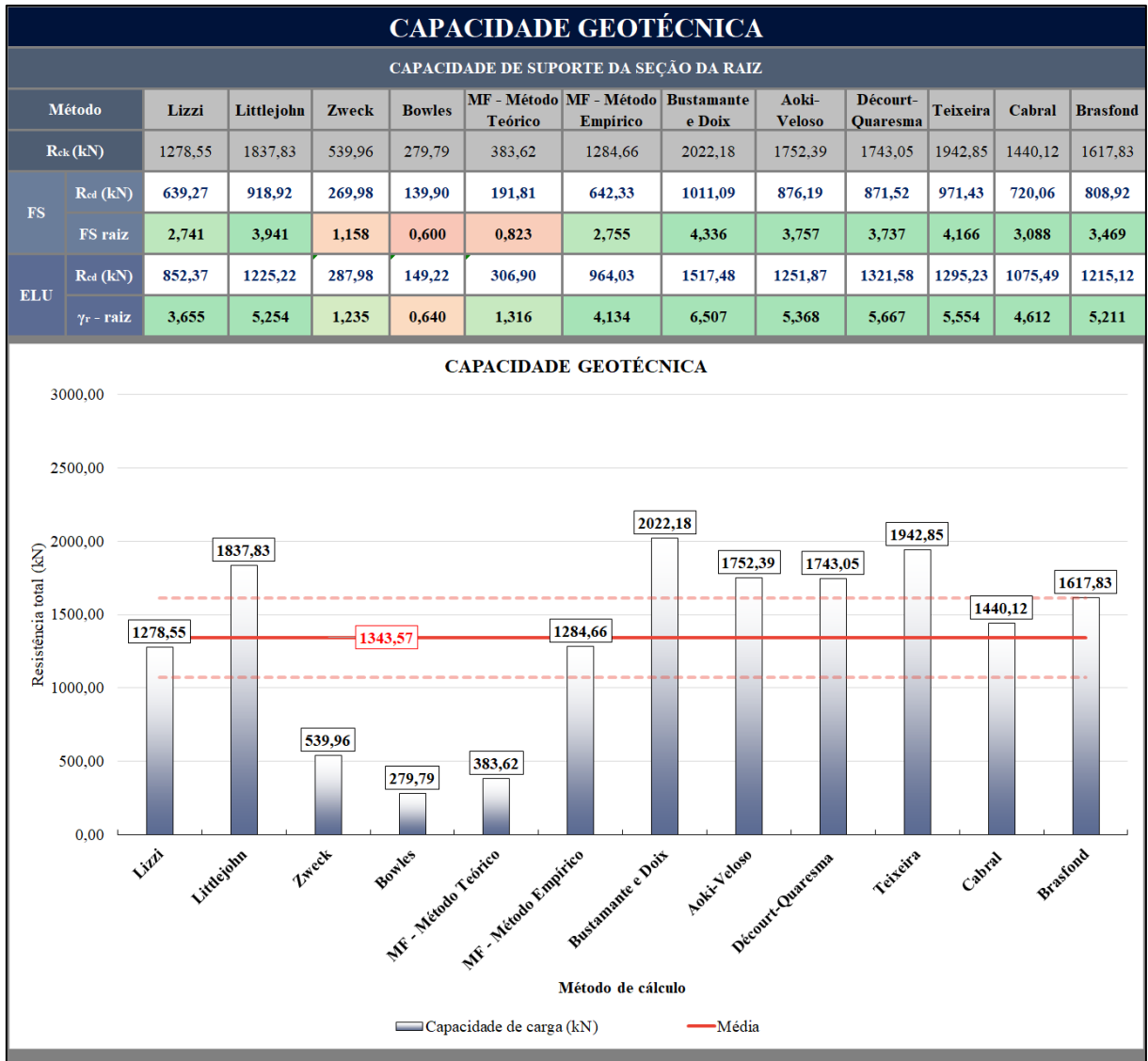



Figura 137 - Resultados - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 180 mm.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA	
Diâmetro de Perforação	0,200 m	2.1. Informações do <b>Caldá de cimento</b>		3.1. Informações do <b>Solo</b>		FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE
Diâmetro efetivo*	0,154 m	Módulo de Elasticidade	28 Gpa	PROFUNDIDADES DE SOLO		FS carga crítica	1,00
Comprimento cabeça*	2,00 m	Momento de Inércia	1,63E-06 m <sup>4</sup>	Zona Geotécnica		FS tensão no aço	1,00
Comprimento livre	2,00 m	Rigidez a flexão	45,61 kNm <sup>2</sup>	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)		FS secção da raiz	2,00
Comprimento raiz	13,00 m	Área de Concreto secção interna	0,0045 m <sup>2</sup>	Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)			
Considerar ZG4 como referência	NÃO	f <sub>ck</sub> (MPa)	25 MPa	VALORES DOS ENSAIOS			
Comprimento efetivo*	8,50 m	γ <sub>c</sub>	1,5	NFM solo			
Comprimento TOTAL	15,00 m	f <sub>td</sub> (MPa)	16,67 MPa	N <sub>SPZ</sub>			
Rigidez a flexão raiz	2460,64 kNm <sup>2</sup>	2.2. Informações do <b>aço da Armadura Tubular</b>		TIPOS DE SOLO			
Rigidez a flexão secção interna	347,38 kNm <sup>2</sup>	Diâmetro exterior	0,0889 m	Livre			
Diâmetro efetivo	Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.	Espessura	0,0065 m	Comprimento livre da microestaca			
Comprimento cabeça	Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.	Módulo de Elasticidade	210 Gpa	ZG4			
Comprimento efetivo	L <sub>efetivo</sub> = L <sub>livre</sub> + L <sub>cabeça</sub>	Diâmetro interior	0,0759 m	ZG3			
		Momento de Inércia	1,44E-06 m <sup>4</sup>	ZG2			
		Rigidez a flexão	301,76 kNm <sup>2</sup>	ZG1			
		Área de aço	1,68E-03 m <sup>2</sup>	Classificação global do solo			
		f <sub>ca</sub>	595 MPa	LIZZI		Solos rígidos, cascalhos e areias	
		γ <sub>s</sub>	1,00	PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA			
		f <sub>ca</sub>	595,00 MPa	γ (kN/m <sup>3</sup> )		0 19 20 20	
2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO		Euler e Pierre Souche		c' (kPa)		0 0 0 0	
Euler e Pierre Souche		Rigidez da mola Winkler	6 MN/m <sup>3</sup>	φ' (°)		27,10 33,15 37,00 41,33	
Pierre Souche		m	5,505	OUTROS PARÂMETROS			
ABACOS DE SOUCHE		w	0,133	OCR		1 1 1 1	
2.4. Definir CORROSÃO		CORROSÃO		TIPO		IGU	
CORROSÃO		Tempo de vida útil	50 anos	Pressão da injeção		0,50 MPa	
CORROSÃO		Fu,t	0,5	Condição estrutural		Nova estrutura	
CORROSÃO		Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003 m	Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ		1	

Figura 138 - Informações paramétricas - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 200 mm.

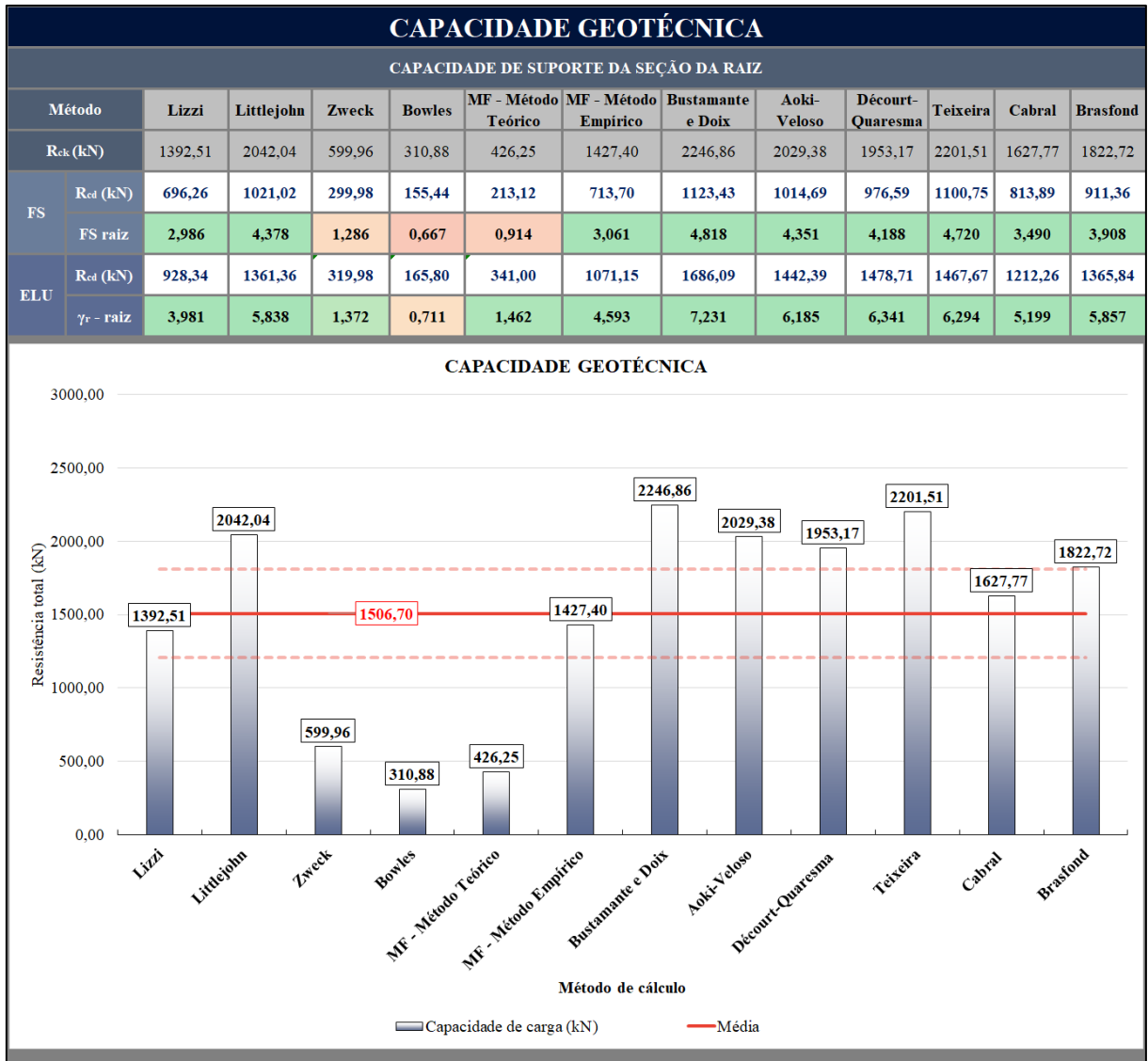



Figura 139 - Resultados - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 200 mm.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

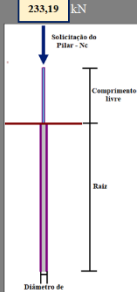
1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA																																																																																																																																																																																																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Diâmetro de Perfuração</td><td>0,220</td><td>m</td></tr> <tr><td>Diâmetro efetivo*</td><td>0,154</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento cabeça*</td><td>2,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento livre</td><td>2,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento raiz</td><td>13,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Considerar ZG4 como referência</td><td>NÃO</td><td></td></tr> <tr><td>Comprimento efetivo*</td><td>8,50</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento TOTAL</td><td>15,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão raiz</td><td>3481,25</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão seção interna</td><td>347,38</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> </table> <p><small>Diâmetro efetivo Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.</small></p> <p><small>Comprimento cabeça Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.</small></p> <p><small>Comprimento efetivo L<sub>efetivo</sub> = L<sub>livre</sub> + L<sub>cabeça</sub></small></p>	Diâmetro de Perfuração	0,220	m	Diâmetro efetivo*	0,154	m	Comprimento cabeça*	2,00	m	Comprimento livre	2,00	m	Comprimento raiz	13,00	m	Considerar ZG4 como referência	NÃO		Comprimento efetivo*	8,50	m	Comprimento TOTAL	15,00	m	Rigidez a flexão raiz	3481,25	kNm <sup>2</sup>	Rigidez a flexão seção interna	347,38	kNm <sup>2</sup>		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">2.1. Informações do <b>Calda de cimento</b></th></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>28 GPa</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>1,63E-06 m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>45,61 kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de Concreto seção interna</td><td>0,0045 m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>f<sub>ck</sub> (MPa)</td><td>25</td></tr> <tr><td>γc</td><td>1,5</td></tr> <tr><td>f<sub>cd</sub> (MPa)</td><td>16,67</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">2.2. Informações do <b> aço da Armadura Tubular</b></th></tr> <tr><td>Diâmetro exterior</td><td>0,0889 m</td></tr> <tr><td>Espessura</td><td>0,0065 m</td></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>210 GPa</td></tr> <tr><td>Diâmetro interior</td><td>0,0759 m</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>1,44E-06 m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>301,76 kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de aço</td><td>1,68E-03 m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>f<sub>yk</sub></td><td>595 MPa</td></tr> <tr><td>γs</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>f<sub>sd</sub></td><td>595,00 MPa</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">2.3. Parâmetros individuais de cada <b>MÉTODO</b></th></tr> <tr><th colspan="2">Euler e Pierre Souche</th></tr> <tr><td>Rigidez da mola Winkler</td><td>6 MN/m<sup>3</sup></td></tr> <tr><th colspan="2">Pierre Souche</th></tr> <tr><td>m</td><td>5,505</td></tr> <tr><td>w</td><td>0,133</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;"><b>ABACOS DE SOUCHE</b></td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">42</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">2.4. Definir <b>CORROSÃO</b></th></tr> <tr><td>CORROSÃO</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Tempo de vida útil</td><td>50 anos</td></tr> <tr><td>F<sub>u,t</sub></td><td>0,5</td></tr> <tr><td>Perda de espessura do tubo corrosão</td><td>0,0003 m</td></tr> </table>	2.1. Informações do <b>Calda de cimento</b>		Módulo de Elasticidade	28 GPa	Momento de Inércia	1,63E-06 m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	45,61 kNm <sup>2</sup>	Área de Concreto seção interna	0,0045 m <sup>2</sup>	f <sub>ck</sub> (MPa)	25	γc	1,5	f <sub>cd</sub> (MPa)	16,67	2.2. Informações do <b> aço da Armadura Tubular</b>		Diâmetro exterior	0,0889 m	Espessura	0,0065 m	Módulo de Elasticidade	210 GPa	Diâmetro interior	0,0759 m	Momento de Inércia	1,44E-06 m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	301,76 kNm <sup>2</sup>	Área de aço	1,68E-03 m <sup>2</sup>	f <sub>yk</sub>	595 MPa	γs	1,00	f <sub>sd</sub>	595,00 MPa	2.3. Parâmetros individuais de cada <b>MÉTODO</b>		Euler e Pierre Souche		Rigidez da mola Winkler	6 MN/m <sup>3</sup>	Pierre Souche		m	5,505	w	0,133	<b>ABACOS DE SOUCHE</b>		42		2.4. Definir <b>CORROSÃO</b>		CORROSÃO	<input type="checkbox"/>	Tempo de vida útil	50 anos	F <sub>u,t</sub>	0,5	Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003 m	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">3.1. Informações do <b>Solo</b></th></tr> <tr><th colspan="4">PROFUNDIDADES DE SOLO</th></tr> <tr><td>Zona Geotécnica</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)</td><td>5,1</td><td>8,0</td><td>10,4</td><td>20,0</td></tr> <tr><td>Altura (m) (CAMADA DO SOLO)</td><td>0</td><td>2,9</td><td>2,4</td><td>9,6</td></tr> <tr><th colspan="4">VALORES DOS ENSAIOS</th></tr> <tr><td>N<sub>PM</sub> solo</td><td>0</td><td>22</td><td>37</td><td>55</td></tr> <tr><td>N<sub>SP</sub></td><td>0</td><td>21</td><td>35</td><td>52</td></tr> <tr><th colspan="4">TIPOS DE SOLO</th></tr> <tr><td>L<sub>livre</sub></td><td colspan="3">Comprimento livre da microestaca</td></tr> <tr><td>ZG4</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td>ZG3</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td>ZG2</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td>ZG1</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td colspan="4">Classificação global do solo LIZZI</td></tr> <tr><td colspan="4">Solos rígidos, cascalhos e areias</td></tr> <tr><th colspan="4">PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA</th></tr> <tr><td>γ (kN/m<sup>3</sup>)</td><td>0</td><td>19</td><td>20</td><td>20</td></tr> <tr><td>c' (kPa)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>φ' (°)</td><td>27,10</td><td>33,15</td><td>37,00</td><td>41,33</td></tr> <tr><th colspan="4">OUTROS PARÂMETROS</th></tr> <tr><td>OCR</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>E (MPa)</td><td>0</td><td>92,49</td><td>140,20</td><td>192,52</td></tr> <tr><td>p<sub>lim</sub> (MPa)</td><td>0</td><td>1,05</td><td>1,76</td><td>2,62</td></tr> <tr><td>E<sub>s</sub> (MPa)</td><td>0</td><td>8,70</td><td>15,49</td><td>23,63</td></tr> <tr><td>α<sub>s</sub></td><td>#####</td><td>0,33</td><td>0,33</td><td>0,33</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">3.2. Defina a <b>Injeção da calda</b> e outros <b>parâmetros</b></th></tr> <tr><td>TIPO</td><td>IGU</td></tr> <tr><td>Pressão da injeção</td><td>0,50 MPa</td></tr> <tr><td>Condição estrutural</td><td>Nova estrutura</td></tr> <tr><td>Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ</td><td>1</td></tr> </table>	3.1. Informações do <b>Solo</b>		PROFUNDIDADES DE SOLO				Zona Geotécnica	4	3	2	1	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	20,0	Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0	2,9	2,4	9,6	VALORES DOS ENSAIOS				N <sub>PM</sub> solo	0	22	37	55	N <sub>SP</sub>	0	21	35	52	TIPOS DE SOLO				L <sub>livre</sub>	Comprimento livre da microestaca			ZG4	Areia			ZG3	Areia			ZG2	Areia			ZG1	Areia			Classificação global do solo LIZZI				Solos rígidos, cascalhos e areias				PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA				γ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20	c' (kPa)	0	0	0	0	φ' (°)	27,10	33,15	37,00	41,33	OUTROS PARÂMETROS				OCR	1	1	1	1	E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52	p <sub>lim</sub> (MPa)	0	1,05	1,76	2,62	E <sub>s</sub> (MPa)	0	8,70	15,49	23,63	α <sub>s</sub>	#####	0,33	0,33	0,33	3.2. Defina a <b>Injeção da calda</b> e outros <b>parâmetros</b>		TIPO	IGU	Pressão da injeção	0,50 MPa	Condição estrutural	Nova estrutura	Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ	1	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>FATOR DE SEGURANÇA</th><th>ESTADO LIMITE</th></tr> <tr><td>FS carga crítica</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>FS atrito</td><td>1,25</td></tr> <tr><td>FS coesão</td><td>1,25</td></tr> <tr><td>FS raiz total</td><td>1,50</td></tr> <tr><td>FS raiz ponta</td><td>1,60</td></tr> <tr><td>FS raiz lateral</td><td>1,30</td></tr> <tr><td>FS aço</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>FS calda</td><td>1,50</td></tr> </table>	FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE	FS carga crítica	1,00	FS atrito	1,25	FS coesão	1,25	FS raiz total	1,50	FS raiz ponta	1,60	FS raiz lateral	1,30	FS aço	1,00	FS calda	1,50
Diâmetro de Perfuração	0,220	m																																																																																																																																																																																																																																															
Diâmetro efetivo*	0,154	m																																																																																																																																																																																																																																															
Comprimento cabeça*	2,00	m																																																																																																																																																																																																																																															
Comprimento livre	2,00	m																																																																																																																																																																																																																																															
Comprimento raiz	13,00	m																																																																																																																																																																																																																																															
Considerar ZG4 como referência	NÃO																																																																																																																																																																																																																																																
Comprimento efetivo*	8,50	m																																																																																																																																																																																																																																															
Comprimento TOTAL	15,00	m																																																																																																																																																																																																																																															
Rigidez a flexão raiz	3481,25	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																															
Rigidez a flexão seção interna	347,38	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																															
2.1. Informações do <b>Calda de cimento</b>																																																																																																																																																																																																																																																	
Módulo de Elasticidade	28 GPa																																																																																																																																																																																																																																																
Momento de Inércia	1,63E-06 m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																																
Rigidez a flexão	45,61 kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																
Área de Concreto seção interna	0,0045 m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																
f <sub>ck</sub> (MPa)	25																																																																																																																																																																																																																																																
γc	1,5																																																																																																																																																																																																																																																
f <sub>cd</sub> (MPa)	16,67																																																																																																																																																																																																																																																
2.2. Informações do <b> aço da Armadura Tubular</b>																																																																																																																																																																																																																																																	
Diâmetro exterior	0,0889 m																																																																																																																																																																																																																																																
Espessura	0,0065 m																																																																																																																																																																																																																																																
Módulo de Elasticidade	210 GPa																																																																																																																																																																																																																																																
Diâmetro interior	0,0759 m																																																																																																																																																																																																																																																
Momento de Inércia	1,44E-06 m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																																
Rigidez a flexão	301,76 kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																
Área de aço	1,68E-03 m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																
f <sub>yk</sub>	595 MPa																																																																																																																																																																																																																																																
γs	1,00																																																																																																																																																																																																																																																
f <sub>sd</sub>	595,00 MPa																																																																																																																																																																																																																																																
2.3. Parâmetros individuais de cada <b>MÉTODO</b>																																																																																																																																																																																																																																																	
Euler e Pierre Souche																																																																																																																																																																																																																																																	
Rigidez da mola Winkler	6 MN/m <sup>3</sup>																																																																																																																																																																																																																																																
Pierre Souche																																																																																																																																																																																																																																																	
m	5,505																																																																																																																																																																																																																																																
w	0,133																																																																																																																																																																																																																																																
<b>ABACOS DE SOUCHE</b>																																																																																																																																																																																																																																																	
42																																																																																																																																																																																																																																																	
2.4. Definir <b>CORROSÃO</b>																																																																																																																																																																																																																																																	
CORROSÃO	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																																
Tempo de vida útil	50 anos																																																																																																																																																																																																																																																
F <sub>u,t</sub>	0,5																																																																																																																																																																																																																																																
Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003 m																																																																																																																																																																																																																																																
3.1. Informações do <b>Solo</b>																																																																																																																																																																																																																																																	
PROFUNDIDADES DE SOLO																																																																																																																																																																																																																																																	
Zona Geotécnica	4	3	2	1																																																																																																																																																																																																																																													
Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	20,0																																																																																																																																																																																																																																													
Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0	2,9	2,4	9,6																																																																																																																																																																																																																																													
VALORES DOS ENSAIOS																																																																																																																																																																																																																																																	
N <sub>PM</sub> solo	0	22	37	55																																																																																																																																																																																																																																													
N <sub>SP</sub>	0	21	35	52																																																																																																																																																																																																																																													
TIPOS DE SOLO																																																																																																																																																																																																																																																	
L <sub>livre</sub>	Comprimento livre da microestaca																																																																																																																																																																																																																																																
ZG4	Areia																																																																																																																																																																																																																																																
ZG3	Areia																																																																																																																																																																																																																																																
ZG2	Areia																																																																																																																																																																																																																																																
ZG1	Areia																																																																																																																																																																																																																																																
Classificação global do solo LIZZI																																																																																																																																																																																																																																																	
Solos rígidos, cascalhos e areias																																																																																																																																																																																																																																																	
PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA																																																																																																																																																																																																																																																	
γ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20																																																																																																																																																																																																																																													
c' (kPa)	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																													
φ' (°)	27,10	33,15	37,00	41,33																																																																																																																																																																																																																																													
OUTROS PARÂMETROS																																																																																																																																																																																																																																																	
OCR	1	1	1	1																																																																																																																																																																																																																																													
E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52																																																																																																																																																																																																																																													
p <sub>lim</sub> (MPa)	0	1,05	1,76	2,62																																																																																																																																																																																																																																													
E <sub>s</sub> (MPa)	0	8,70	15,49	23,63																																																																																																																																																																																																																																													
α <sub>s</sub>	#####	0,33	0,33	0,33																																																																																																																																																																																																																																													
3.2. Defina a <b>Injeção da calda</b> e outros <b>parâmetros</b>																																																																																																																																																																																																																																																	
TIPO	IGU																																																																																																																																																																																																																																																
Pressão da injeção	0,50 MPa																																																																																																																																																																																																																																																
Condição estrutural	Nova estrutura																																																																																																																																																																																																																																																
Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ	1																																																																																																																																																																																																																																																
FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE																																																																																																																																																																																																																																																
FS carga crítica	1,00																																																																																																																																																																																																																																																
FS atrito	1,25																																																																																																																																																																																																																																																
FS coesão	1,25																																																																																																																																																																																																																																																
FS raiz total	1,50																																																																																																																																																																																																																																																
FS raiz ponta	1,60																																																																																																																																																																																																																																																
FS raiz lateral	1,30																																																																																																																																																																																																																																																
FS aço	1,00																																																																																																																																																																																																																																																
FS calda	1,50																																																																																																																																																																																																																																																

Figura 140 - Informações paramétricas - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 220 mm.

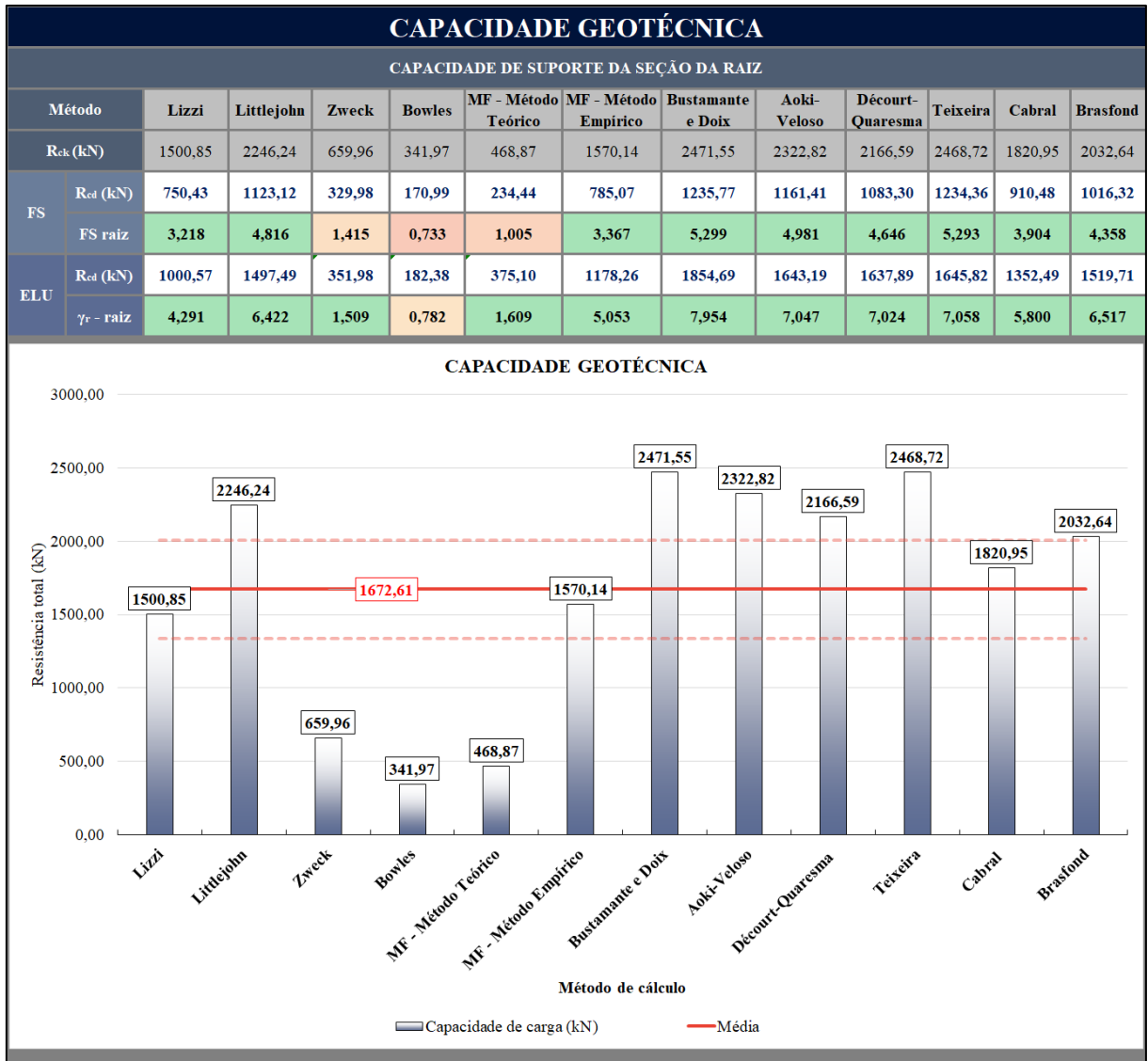



Figura 141 - Resultados - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 220 mm.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

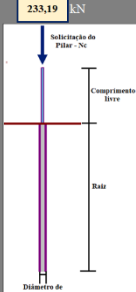
1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA	2. CAPACIDADE ESTRUTURAL	3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA	4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA																																																																																																																																																																																																																																																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Diâmetro de Perfuração</td><td>0,240</td><td>m</td></tr> <tr><td>Diâmetro efetivo*</td><td>0,154</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento cabeça*</td><td>2,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento livre</td><td>2,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento raiz</td><td>13,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Considerar ZG4 como referência</td><td>NÃO</td><td></td></tr> <tr><td>Comprimento efetivo*</td><td>8,50</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento TOTAL</td><td>15,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão raiz</td><td>4821,61</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão seção interna</td><td>347,38</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> </table> <p><small>Diâmetro efetivo: Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.</small></p> <p><small>Comprimento cabeça: Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.</small></p> <p><small>Comprimento efetivo: <math>L_{efetivo} = L_{livre} + L_{cabeça}</math></small></p>	Diâmetro de Perfuração	0,240	m	Diâmetro efetivo*	0,154	m	Comprimento cabeça*	2,00	m	Comprimento livre	2,00	m	Comprimento raiz	13,00	m	Considerar ZG4 como referência	NÃO		Comprimento efetivo*	8,50	m	Comprimento TOTAL	15,00	m	Rigidez a flexão raiz	4821,61	kNm <sup>2</sup>	Rigidez a flexão seção interna	347,38	kNm <sup>2</sup>	<div style="text-align: center; margin-bottom: 10px;">  </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="3">2.1. Informações do <b>Calda de cimento</b></th></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>28</td><td>Gpa</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>1,63E-06</td><td>m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>45,61</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de Concreto seção interna</td><td>0,0045</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>f_{ck}</math> (MPa)</td><td>25</td><td>MPa</td></tr> <tr><td><math>\gamma_c</math></td><td>1,5</td><td></td></tr> <tr><td><math>f_{cd}</math> (MPa)</td><td>16,67</td><td>MPa</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="3">2.2. Informações do <b> aço da Armadura Tubular</b></th></tr> <tr><td>Diâmetro exterior</td><td>0,0889</td><td>m</td></tr> <tr><td>Espessura</td><td>0,0065</td><td>m</td></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>210</td><td>Gpa</td></tr> <tr><td>Diâmetro interior</td><td>0,0759</td><td>m</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>1,44E-06</td><td>m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>301,76</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de aço</td><td>1,68E-03</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>f_{yk}</math></td><td>595</td><td>MPa</td></tr> <tr><td><math>\gamma_s</math></td><td>1,00</td><td></td></tr> <tr><td><math>f_{sd}</math></td><td>595,00</td><td>MPa</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="3">2.3. Parâmetros individuais de cada <b>MÉTODO</b></th></tr> <tr><th colspan="3">Euler e Pierre Souche</th></tr> <tr><td>Rigidez da mola Winkler</td><td>6</td><td>MN/m<sup>3</sup></td></tr> <tr><th colspan="3">Pierre Souche</th></tr> <tr><td>m</td><td>5,505</td><td></td></tr> <tr><td>w</td><td>0,133</td><td></td></tr> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;"><b>ABACOS DE SOUCHE</b></td></tr> <tr><td></td><td></td><td style="text-align: center;">42</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="3">2.4. Definir <b>CORROSÃO</b></th></tr> <tr><td>CORROSÃO</td><td><input type="checkbox"/></td><td></td></tr> <tr><td>Tempo de vida útil</td><td>50</td><td>anos</td></tr> <tr><td><math>F_{u,t}</math></td><td>0,5</td><td></td></tr> <tr><td>Perda de espessura do tubo corrosão</td><td>0,0003</td><td>m</td></tr> </table>	2.1. Informações do <b>Calda de cimento</b>			Módulo de Elasticidade	28	Gpa	Momento de Inércia	1,63E-06	m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	45,61	kNm <sup>2</sup>	Área de Concreto seção interna	0,0045	m <sup>2</sup>	$f_{ck}$ (MPa)	25	MPa	$\gamma_c$	1,5		$f_{cd}$ (MPa)	16,67	MPa	2.2. Informações do <b> aço da Armadura Tubular</b>			Diâmetro exterior	0,0889	m	Espessura	0,0065	m	Módulo de Elasticidade	210	Gpa	Diâmetro interior	0,0759	m	Momento de Inércia	1,44E-06	m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	301,76	kNm <sup>2</sup>	Área de aço	1,68E-03	m <sup>2</sup>	$f_{yk}$	595	MPa	$\gamma_s$	1,00		$f_{sd}$	595,00	MPa	2.3. Parâmetros individuais de cada <b>MÉTODO</b>			Euler e Pierre Souche			Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>	Pierre Souche			m	5,505		w	0,133		<b>ABACOS DE SOUCHE</b>					42	2.4. Definir <b>CORROSÃO</b>			CORROSÃO	<input type="checkbox"/>		Tempo de vida útil	50	anos	$F_{u,t}$	0,5		Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003	m	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="3">3.1. Informações do <b>Solo</b></th></tr> <tr><th colspan="4">PROFUNDIDADES DE SOLO</th></tr> <tr><td>Zona Geotécnica</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)</td><td>5,1</td><td>8,0</td><td>10,4</td><td>20,0</td></tr> <tr><td>Altura (m) (CAMADA DO SOLO)</td><td>0</td><td>2,9</td><td>2,4</td><td>9,6</td></tr> <tr><th colspan="4">VALORES DOS ENSAIOS</th></tr> <tr><td>NPM solo</td><td>0</td><td>22</td><td>37</td><td>55</td></tr> <tr><td>N<sub>SP</sub></td><td>0</td><td>21</td><td>35</td><td>52</td></tr> <tr><th colspan="4">TIPOS DE SOLO</th></tr> <tr><td>L<sub>livre</sub></td><td colspan="3">Comprimento livre da microestaca</td></tr> <tr><td>ZG4</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td>ZG3</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td>ZG2</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td>ZG1</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td colspan="4">Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias</td></tr> <tr><th colspan="4">PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA</th></tr> <tr><td><math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</td><td>0</td><td>19</td><td>20</td><td>20</td></tr> <tr><td><math>c'</math> (kPa)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td><math>\phi'</math> (°)</td><td>27,10</td><td>33,15</td><td>37,00</td><td>41,33</td></tr> <tr><th colspan="4">OUTROS PARÂMETROS</th></tr> <tr><td>OCR</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>E (MPa)</td><td>0</td><td>92,49</td><td>140,20</td><td>192,52</td></tr> <tr><td><math>\mu_{int}</math> (MPa)</td><td>0</td><td>1,05</td><td>1,76</td><td>2,62</td></tr> <tr><td><math>E_{s0}</math> (MPa)</td><td>0</td><td>8,70</td><td>15,49</td><td>23,63</td></tr> <tr><td><math>\alpha_c</math></td><td>#####</td><td>0,33</td><td>0,33</td><td>0,33</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="3">3.2. Defina a <b>Injeção da calda</b> e outros parâmetros</th></tr> <tr><td>TIPO</td><td colspan="2">IGU</td></tr> <tr><td>Pressão da injeção</td><td>0,50</td><td>MPa</td></tr> <tr><td>Condição estrutural</td><td colspan="2">Nova estrutura</td></tr> <tr><td>Fator de influência (solo-estrutura) que minora o <math>\phi</math></td><td colspan="2">1</td></tr> </table>	3.1. Informações do <b>Solo</b>			PROFUNDIDADES DE SOLO				Zona Geotécnica	4	3	2	1	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	20,0	Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0	2,9	2,4	9,6	VALORES DOS ENSAIOS				NPM solo	0	22	37	55	N <sub>SP</sub>	0	21	35	52	TIPOS DE SOLO				L <sub>livre</sub>	Comprimento livre da microestaca			ZG4	Areia			ZG3	Areia			ZG2	Areia			ZG1	Areia			Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias				PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA				$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20	$c'$ (kPa)	0	0	0	0	$\phi'$ (°)	27,10	33,15	37,00	41,33	OUTROS PARÂMETROS				OCR	1	1	1	1	E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52	$\mu_{int}$ (MPa)	0	1,05	1,76	2,62	$E_{s0}$ (MPa)	0	8,70	15,49	23,63	$\alpha_c$	#####	0,33	0,33	0,33	3.2. Defina a <b>Injeção da calda</b> e outros parâmetros			TIPO	IGU		Pressão da injeção	0,50	MPa	Condição estrutural	Nova estrutura		Fator de influência (solo-estrutura) que minora o $\phi$	1		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>FATOR DE SEGURANÇA</th><th>ESTADO LIMITE</th></tr> <tr><td>FS carga crítica</td><td>1,00 <math>\gamma_{ul}</math> - carga</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>FS tensão no aço</td><td>1,00 <math>\gamma_{ms}</math> - atrito</td><td>1,25</td></tr> <tr><td>FS seção da raiz</td><td>2,00 <math>\gamma_{ms}</math> - coesão</td><td>1,25</td></tr> <tr><td></td><td><math>\gamma_{ms}</math> - raiz total</td><td>1,50</td></tr> <tr><td></td><td><math>\gamma_{ms}</math> - raiz ponta</td><td>1,60</td></tr> <tr><td></td><td><math>\gamma_{ms}</math> - raiz lateral</td><td>1,30</td></tr> <tr><td></td><td><math>\gamma_{ms}</math> - aço</td><td>1,00</td></tr> <tr><td></td><td><math>\gamma_{ms}</math> - calda</td><td>1,50</td></tr> </table>	FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE	FS carga crítica	1,00 $\gamma_{ul}$ - carga	1,00	FS tensão no aço	1,00 $\gamma_{ms}$ - atrito	1,25	FS seção da raiz	2,00 $\gamma_{ms}$ - coesão	1,25		$\gamma_{ms}$ - raiz total	1,50		$\gamma_{ms}$ - raiz ponta	1,60		$\gamma_{ms}$ - raiz lateral	1,30		$\gamma_{ms}$ - aço	1,00		$\gamma_{ms}$ - calda	1,50
Diâmetro de Perfuração	0,240	m																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Diâmetro efetivo*	0,154	m																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Comprimento cabeça*	2,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Comprimento livre	2,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Comprimento raiz	13,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Considerar ZG4 como referência	NÃO																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Comprimento efetivo*	8,50	m																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Comprimento TOTAL	15,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Rigidez a flexão raiz	4821,61	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Rigidez a flexão seção interna	347,38	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																								
2.1. Informações do <b>Calda de cimento</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Módulo de Elasticidade	28	Gpa																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Momento de Inércia	1,63E-06	m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Rigidez a flexão	45,61	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Área de Concreto seção interna	0,0045	m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																								
$f_{ck}$ (MPa)	25	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																								
$\gamma_c$	1,5																																																																																																																																																																																																																																																																																									
$f_{cd}$ (MPa)	16,67	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																								
2.2. Informações do <b> aço da Armadura Tubular</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Diâmetro exterior	0,0889	m																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Espessura	0,0065	m																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Módulo de Elasticidade	210	Gpa																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Diâmetro interior	0,0759	m																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Momento de Inércia	1,44E-06	m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Rigidez a flexão	301,76	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Área de aço	1,68E-03	m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																								
$f_{yk}$	595	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																								
$\gamma_s$	1,00																																																																																																																																																																																																																																																																																									
$f_{sd}$	595,00	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																								
2.3. Parâmetros individuais de cada <b>MÉTODO</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Euler e Pierre Souche																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Pierre Souche																																																																																																																																																																																																																																																																																										
m	5,505																																																																																																																																																																																																																																																																																									
w	0,133																																																																																																																																																																																																																																																																																									
<b>ABACOS DE SOUCHE</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		42																																																																																																																																																																																																																																																																																								
2.4. Definir <b>CORROSÃO</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																										
CORROSÃO	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Tempo de vida útil	50	anos																																																																																																																																																																																																																																																																																								
$F_{u,t}$	0,5																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003	m																																																																																																																																																																																																																																																																																								
3.1. Informações do <b>Solo</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																										
PROFUNDIDADES DE SOLO																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Zona Geotécnica	4	3	2	1																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	20,0																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0	2,9	2,4	9,6																																																																																																																																																																																																																																																																																						
VALORES DOS ENSAIOS																																																																																																																																																																																																																																																																																										
NPM solo	0	22	37	55																																																																																																																																																																																																																																																																																						
N <sub>SP</sub>	0	21	35	52																																																																																																																																																																																																																																																																																						
TIPOS DE SOLO																																																																																																																																																																																																																																																																																										
L <sub>livre</sub>	Comprimento livre da microestaca																																																																																																																																																																																																																																																																																									
ZG4	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																									
ZG3	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																									
ZG2	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																									
ZG1	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias																																																																																																																																																																																																																																																																																										
PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA																																																																																																																																																																																																																																																																																										
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20																																																																																																																																																																																																																																																																																						
$c'$ (kPa)	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																						
$\phi'$ (°)	27,10	33,15	37,00	41,33																																																																																																																																																																																																																																																																																						
OUTROS PARÂMETROS																																																																																																																																																																																																																																																																																										
OCR	1	1	1	1																																																																																																																																																																																																																																																																																						
E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52																																																																																																																																																																																																																																																																																						
$\mu_{int}$ (MPa)	0	1,05	1,76	2,62																																																																																																																																																																																																																																																																																						
$E_{s0}$ (MPa)	0	8,70	15,49	23,63																																																																																																																																																																																																																																																																																						
$\alpha_c$	#####	0,33	0,33	0,33																																																																																																																																																																																																																																																																																						
3.2. Defina a <b>Injeção da calda</b> e outros parâmetros																																																																																																																																																																																																																																																																																										
TIPO	IGU																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Pressão da injeção	0,50	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Condição estrutural	Nova estrutura																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Fator de influência (solo-estrutura) que minora o $\phi$	1																																																																																																																																																																																																																																																																																									
FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE																																																																																																																																																																																																																																																																																									
FS carga crítica	1,00 $\gamma_{ul}$ - carga	1,00																																																																																																																																																																																																																																																																																								
FS tensão no aço	1,00 $\gamma_{ms}$ - atrito	1,25																																																																																																																																																																																																																																																																																								
FS seção da raiz	2,00 $\gamma_{ms}$ - coesão	1,25																																																																																																																																																																																																																																																																																								
	$\gamma_{ms}$ - raiz total	1,50																																																																																																																																																																																																																																																																																								
	$\gamma_{ms}$ - raiz ponta	1,60																																																																																																																																																																																																																																																																																								
	$\gamma_{ms}$ - raiz lateral	1,30																																																																																																																																																																																																																																																																																								
	$\gamma_{ms}$ - aço	1,00																																																																																																																																																																																																																																																																																								
	$\gamma_{ms}$ - calda	1,50																																																																																																																																																																																																																																																																																								

Figura 142 - Informações paramétricas - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 240 mm.

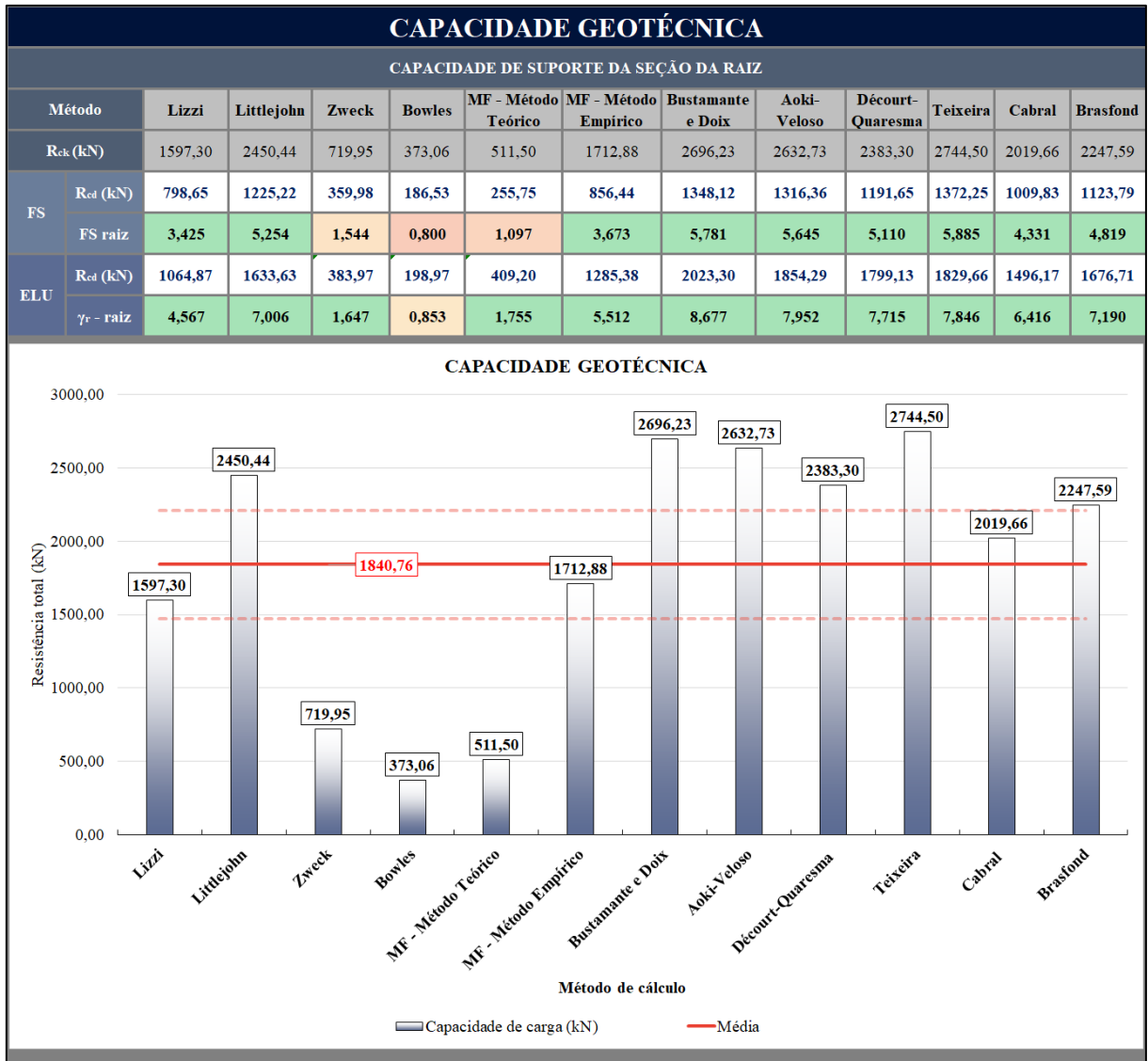



Figura 143 - Resultados - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 240 mm.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA	
<b>Diâmetro de Perforação</b>	0,260 m	<b>2.1. Informações do Calda de cimento</b>		<b>3.1. Informações do Solo</b>		<b>FATOR DE SEGURANÇA</b>	<b>ESTADO LIMITE</b>
<b>Diâmetro efetivo*</b>	0,154 m	Módulo de Elasticidade	28 GPa	<b>PROFUNDIDADES DE SOLO</b>		FS carga crítica	1,00
<b>Comprimento cabeça*</b>	2,00 m	Momento de Inércia	1,63E-06 m <sup>4</sup>	Zona Geotécnica		FS tensão no aço	1,00
<b>Comprimento livre</b>	2,00 m	Rigidez a flexão	45,61 kNm <sup>2</sup>	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)		FS secção da raiz	2,00
<b>Comprimento raiz</b>	13,00 m	Área de Concreto secção interna	0,0045 m <sup>2</sup>	Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)			
<b>Considerar ZG4 como referência</b>	NÃO	f <sub>ck</sub> (MPa)	25 MPa	VALORES DOS ENSAIOS			
<b>Comprimento efetivo*</b>	8,50 m	γ <sub>c</sub>	1,5	NFM solo			
<b>Comprimento TOTAL</b>	15,00 m	f <sub>td</sub> (MPa)	16,67 MPa	N <sub>spz</sub>			
<b>Rigidez a flexão raiz</b>	6542,42 kNm <sup>2</sup>	<b>2.2. Informações do aço da Armadura Tubular</b>		TIPOS DE SOLO			
<b>Rigidez a flexão secção interna</b>	347,38 kNm <sup>2</sup>	Diâmetro exterior	0,0889 m	Livre			
<b>Diâmetro efetivo</b>	Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.	Espessura	0,0065 m	Comprimento livre da microestaca			
<b>Comprimento cabeça</b>	Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.	Módulo de Elasticidade	210 GPa	ZG4			
<b>Comprimento efetivo</b>	L <sub>efetivo</sub> = L <sub>livre</sub> + L <sub>raiz</sub>	Diâmetro interior	0,0759 m	ZG3			
		Momento de Inércia	1,44E-06 m <sup>4</sup>	ZG2			
		Rigidez a flexão	301,76 kNm <sup>2</sup>	ZG1			
		Área de aço	1,68E-03 m <sup>2</sup>	Classificação global do solo LIZZI			
		f <sub>ca</sub>	595 MPa	Solos rígidos, cascalhos e areias			
		γ <sub>s</sub>	1,00	PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA			
		f <sub>ca</sub>	595,00 MPa	γ (kN/m <sup>3</sup> )			
				c' (kPa)			
				φ' (°)			
				OUTROS PARÂMETROS			
				OCR			
				E (MPa)			
				p <sub>lim</sub> (MPa)			
				E <sub>u</sub> (MPa)			
				α <sub>s</sub>			
				<b>3.2. Define a Injeção da calda e outros parâmetros</b>			
				TIPO			
				Pressão da injeção			
				Condição estrutural			
				Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ			
				2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO			
				Euler e Pierre Souche			
				Rigidez da mola Winkler			
				Pierre Souche			
				m			
				w			
				ABACOS DE SOUCHE			
				42			
				2.4. Definir CORROSÃO			
				CORROSÃO			
				Tempo de vida útil			
				F <sub>u,t</sub>			
				Perda de espessura do tubo corrosão			

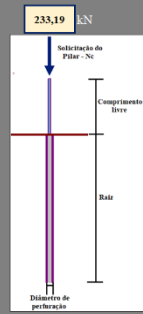


Figura 144 - Informações paramétricas - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 260 mm.

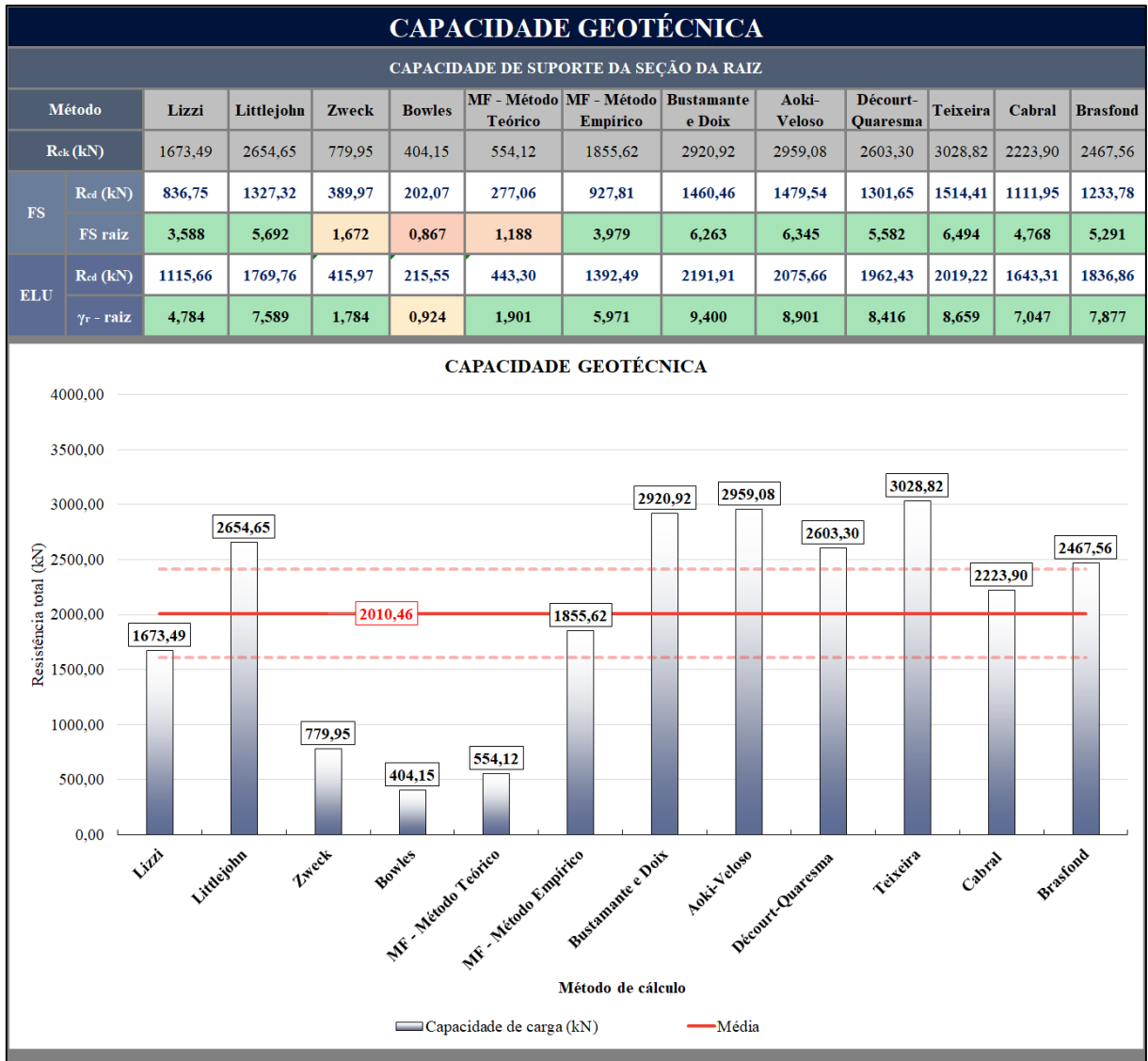



Figura 145 - Resultados - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 260 mm.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA	
Diâmetro de Perfuração	0,280 m	2.1. Informações do <b>Calda de cimento</b>		3.1. Informações do <b>Solo</b>		FATOR DE SEGURANÇA	
Diâmetro efetivo*	0,154 m	Módulo de Elasticidade	28 Gpa	PROFUNDIDADES DE SOLO		FS carga crítica	1,00
Comprimento cabeça*	2,00 m	Momento de Inércia	1,63E-06 m <sup>4</sup>	Zona Geotécnica	4 3 2 1	FS tensão no aço	1,00
Comprimento livre	2,00 m	Rigidez a flexão	45,61 kNm <sup>2</sup>	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1 8,0 10,4 20,0	FS secção da raiz	2,00
Comprimento raiz	13,00 m	Área de Concreto secção interna	0,0045 m <sup>2</sup>	Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0 2,9 2,4 9,6		
Considerar ZG4 como referência	NÃO	f <sub>ck</sub> (MPa)	25 MPa	VALORES DOS ENSAIOS			
Comprimento efetivo*	8,50 m	γ <sub>c</sub>	1,5	NFM <sub>solto</sub>	0 22 37 55		
Comprimento TOTAL	15,00 m	f <sub>td</sub> (MPa)	16,67 MPa	N <sub>opt</sub>	0 21 35 52		
Rigidez a flexão raiz	8709,65 kNm <sup>2</sup>	2.2. Informações do <b>aço da Armadura Tubular</b>		TIPOS DE SOLO			
Rigidez a flexão secção interna	347,38 kNm <sup>2</sup>	Diâmetro exterior	0,0889 m	Livre	Comprimento livre da microestaca		
<p><b>Diagrama</b></p>		Espessura	0,0065 m	ZG4	Areia		
		Módulo de Elasticidade	210 Gpa	ZG3	Areia		
		Diâmetro interior	0,0759 m	ZG2	Areia		
		Momento de Inércia	1,44E-06 m <sup>4</sup>	ZG1	Areia		
		Rigidez a flexão	301,76 kNm <sup>2</sup>	Classificação global do solo LIZZI		Solos rígidos, cascalhos e areias	
		Área de aço	1,68E-03 m <sup>2</sup>	PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA			
		f <sub>ca</sub>	595 MPa	γ (kN/m <sup>3</sup> )	0 19 20 20	c' (kPa)	0 0 0 0
		γ <sub>s</sub>	1,00	φ' (°)	27,10 33,15 37,00 41,33	OUTROS PARÂMETROS	
		f <sub>ca</sub>	595,00 MPa	OCR	1 1 1 1	E (MPa)	0 92,49 140,20 192,52
		2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO		Rigidez da mola Winkler	6 MN/m <sup>3</sup>	p <sub>lim</sub> (MPa)	0 1,05 1,76 2,62
Euler e Pierre Souche		Pierre Souche		E <sub>m</sub> (MPa)	0 8,70 15,49 23,63		
Euler e Pierre Souche		m	5,505	α <sub>s</sub>	##### 0,33 0,33 0,33		
Euler e Pierre Souche		w	0,133	3.2. Define a <b>injeção da calda</b> e outros parâmetros			
Euler e Pierre Souche		ABACOS DE SOUCHE		TIPO	IGU		
Euler e Pierre Souche		42		Pressão da injeção	0,50 MPa		
2.4. Definir <b>CORROSÃO</b>		CORROSÃO		Condição estrutural	Nova estrutura		
CORROSÃO		CORROSÃO		Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ	1		
Tempo de vida útil	50 anos	Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003 m				

Figura 146 - Informações paramétricas - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 280 mm.

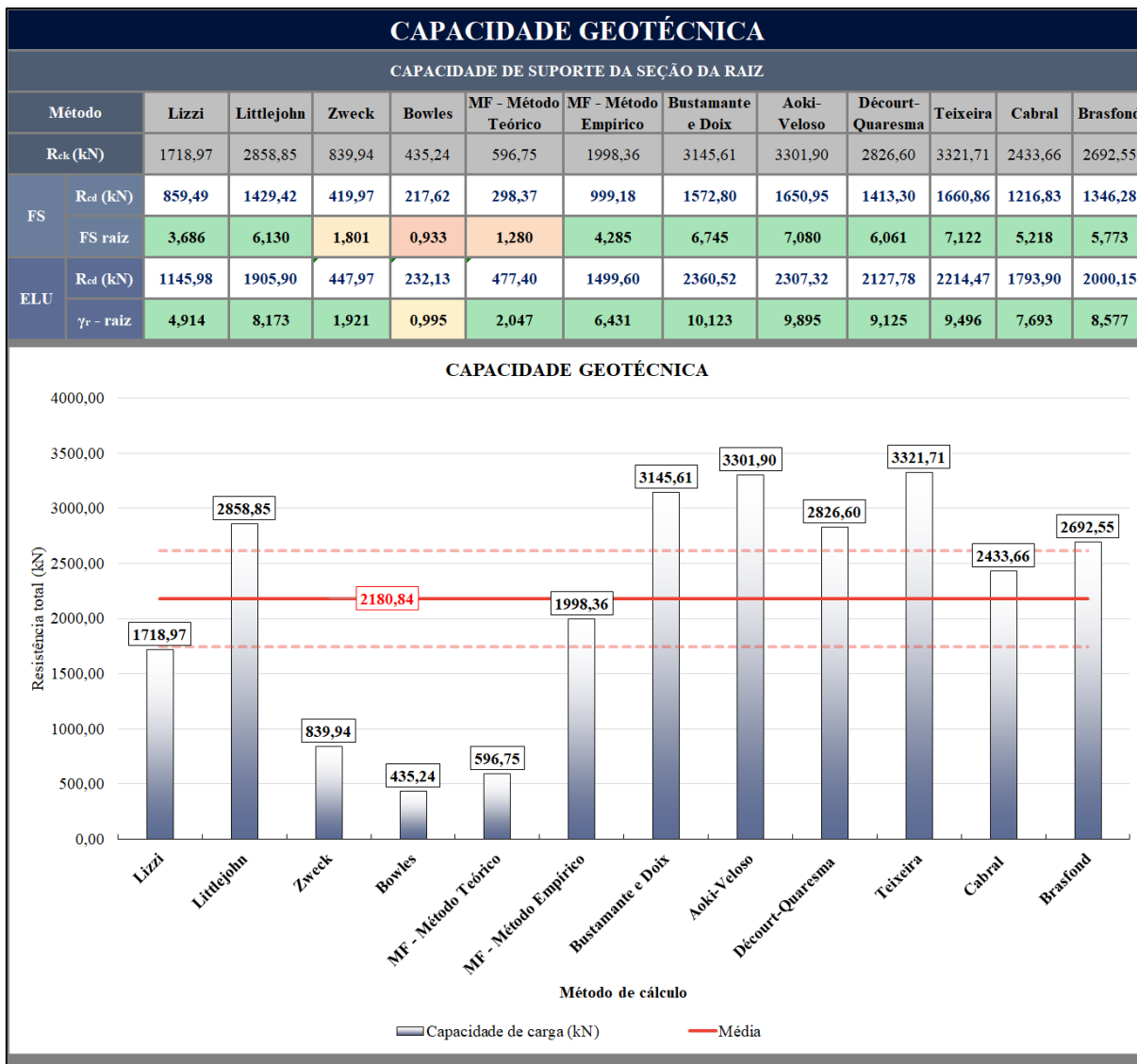



Figura 147 - Resultados - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 280 mm.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA	
<b>Diâmetro de Perfuração</b>	0,300 m	<b>2.1. Informações do Calda de cimento</b>		<b>3.1. Informações do Solo</b>		<b>FATOR DE SEGURANÇA</b>	<b>ESTADO LIMITE</b>
<b>Diâmetro efetivo*</b>	0,154 m	Módulo de Elasticidade	28 Gpa	<b>PROFUNDIDADES DE SOLO</b>		FS carga crítica	1,00
<b>Comprimento cabeça*</b>	2,00 m	Momento de Inércia	1,63E-06 m <sup>4</sup>	Zona Geotécnica		FS tensão no aço	1,00
<b>Comprimento livre</b>	2,00 m	Rigidez a flexão	45,61 kNm <sup>2</sup>	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)		FS seção da raiz	2,00
<b>Comprimento raiz</b>	13,00 m	Área de Concreto seção interna	0,0045 m <sup>2</sup>	Altura (m) (CAMADA DO SOLO)			
<b>Considerar ZG4 como referência</b>	NÃO	f <sub>ck</sub> (MPa)	25 MPa	VALORES DOS ENSAIOS			
<b>Comprimento efetivo*</b>	8,50 m	γ <sub>c</sub>	1,5	NPM solo			
<b>Comprimento TOTAL</b>	15,00 m	f <sub>td</sub> (MPa)	16,67 MPa	N <sub>SP</sub>			
<b>Rigidez a flexão raiz</b>	##### kNm <sup>2</sup>	<b>2.2. Informações do aço da Armadura Tubular</b>		TIPOS DE SOLO			
<b>Rigidez a flexão seção interna</b>	347,38 kNm <sup>2</sup>	Diâmetro exterior	0,0889 m	Livre			
<b>Diâmetro efetivo</b>	Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.	Espessura	0,0065 m	Comprimento livre da microestaca			
<b>Comprimento cabeça</b>	Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.	Módulo de Elasticidade	210 Gpa	ZG4			
<b>Comprimento efetivo</b>	L <sub>efetivo</sub> = L <sub>livre</sub> + L <sub>raiz</sub>	Diâmetro interior	0,0759 m	ZG3			
		Momento de Inércia	1,44E-06 m <sup>4</sup>	ZG2			
		Rigidez a flexão	301,76 kNm <sup>2</sup>	ZG1			
		Área de aço	1,68E-03 m <sup>2</sup>	Classificação global do solo LIZZI			
		f <sub>ca</sub>	595 MPa	Solos rígidos, cascalhos e areias			
		γ <sub>s</sub>	1,00	PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA			
		f <sub>ca</sub>	595,00 MPa	γ (kN/m <sup>3</sup> )			
<b>2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO</b>		Euler e Pierre Souche		c' (kPa)			
Euler e Pierre Souche		Rigidez da mola Winkler	6 MN/m <sup>3</sup>	φ' (°)			
Pierre Souche		m	5,505	OUTROS PARÂMETROS			
ABACOS DE SOUCHE		w	0,133	OCR			
42		<b>2.4. Definir CORROSÃO</b>		E (MPa)			
<input type="checkbox"/>		CORROSÃO	<input type="checkbox"/>	p <sub>im</sub> (MPa)			
50		Tempo de vida útil	50 anos	E <sub>m</sub> (MPa)			
0,5		F <sub>u,t</sub>	0,5	α <sub>s</sub>			
0,0003		Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003 m	TIPO			
				IGU			
				Pressão da injeção			
				0,50 MPa			
				Condição estrutural			
				Nova estrutura			
				Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ			
				1			

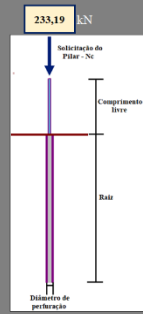


Figura 148 - Informações paramétricas - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 300 mm.

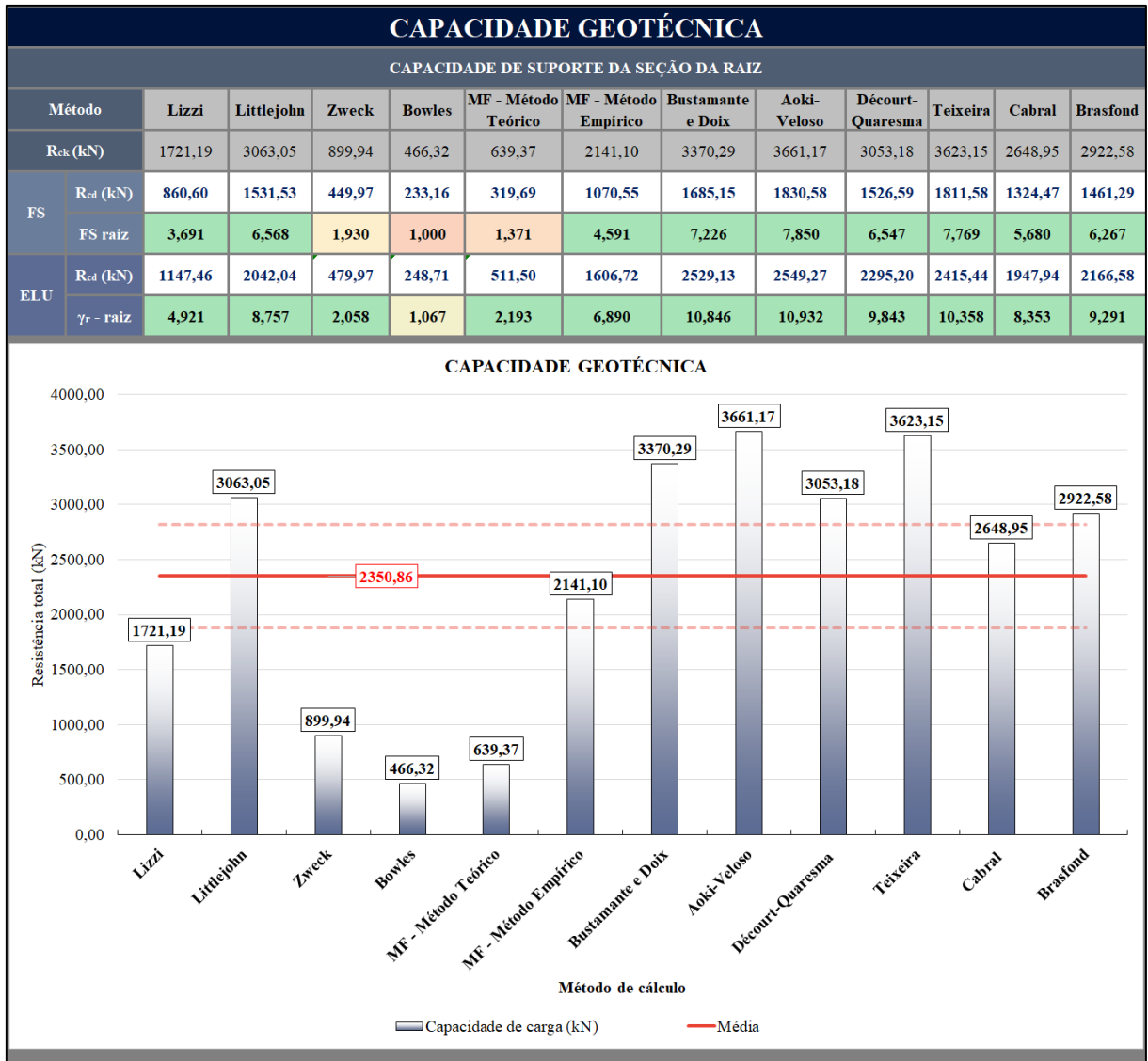



Figura 149 - Resultados - 5º Caso - Diâmetro de perfuração = 300 mm.

## APÊNDICE A.6 – 6º CASO – COMPRIMENTO DA RAIZ



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

**CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA**  
INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
 CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

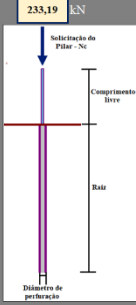
1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA																																																																																																																																																																																																																																																																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Diâmetro de Perfuração</td><td>0,160</td><td>m</td></tr> <tr><td>Diâmetro efetivo*</td><td>0,154</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento cabeça*</td><td>2,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento livre</td><td>2,00</td><td>m</td></tr> <tr style="background-color: #e67e22;"><td>Comprimento raiz</td><td>14,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Considerar ZG4 como referência</td><td>NÃO</td><td></td></tr> <tr><td>Comprimento efetivo*</td><td>9,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Comprimento TOTAL</td><td>16,00</td><td>m</td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão raiz</td><td>1162,29</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão seção interna</td><td>347,38</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> </table> <p><small>Diâmetro efetivo: Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.                      Comprimento cabeça: Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.                      Comprimento efetivo: <math>l_{efetivo} = l_{livre} + l_{cabeça}</math></small></p>	Diâmetro de Perfuração	0,160	m	Diâmetro efetivo*	0,154	m	Comprimento cabeça*	2,00	m	Comprimento livre	2,00	m	Comprimento raiz	14,00	m	Considerar ZG4 como referência	NÃO		Comprimento efetivo*	9,00	m	Comprimento TOTAL	16,00	m	Rigidez a flexão raiz	1162,29	kNm <sup>2</sup>	Rigidez a flexão seção interna	347,38	kNm <sup>2</sup>		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="3">2.1. Informações do Calda de cimento</th></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>28</td><td>Gpa</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>1,63E-06</td><td>m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>45,61</td><td>kNm</td></tr> <tr><td>Área de Concreto seção interna</td><td>0,0045</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>f_{ck}</math> (MPa)</td><td>25</td><td>MPa</td></tr> <tr><td><math>\gamma_c</math></td><td>1,5</td><td></td></tr> <tr><td><math>f_{cd}</math> (MPa)</td><td>16,67</td><td>MPa</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="3">2.2. Informações do aço da Armadura Tubular</th></tr> <tr><td>Diâmetro exterior</td><td>0,0889</td><td>m</td></tr> <tr><td>Espessura</td><td>0,0065</td><td>m</td></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>210</td><td>Gpa</td></tr> <tr><td>Diâmetro interior</td><td>0,0759</td><td>m</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>1,44E-06</td><td>m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>301,76</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de aço</td><td>1,68E-03</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td><math>f_{yk}</math></td><td>595</td><td>MPa</td></tr> <tr><td><math>\gamma_s</math></td><td>1,00</td><td></td></tr> <tr><td><math>f_{td}</math></td><td>595,00</td><td>MPa</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="3">2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO</th></tr> <tr><th colspan="3">Euler e Pierre Souche</th></tr> <tr><td>Rigidez da mola Winkler</td><td>6</td><td>MN/m<sup>3</sup></td></tr> <tr><th colspan="3">Pierre Souche</th></tr> <tr><td>m</td><td>5,872</td><td></td></tr> <tr><td>w</td><td>0,125</td><td></td></tr> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;"><b>ÁBACOS DE SOUCHE</b></td></tr> <tr><td colspan="3">42</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">2.4. Definir CORROSÃO</th></tr> <tr><td>CORROSÃO</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Tempo de vida útil</td><td>50 anos</td></tr> <tr><td><math>F_{cor}</math></td><td>0,5</td></tr> <tr><td>Perda de espessura do tubo corrosão</td><td>0,0003 m</td></tr> </table>	2.1. Informações do Calda de cimento			Módulo de Elasticidade	28	Gpa	Momento de Inércia	1,63E-06	m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	45,61	kNm	Área de Concreto seção interna	0,0045	m <sup>2</sup>	$f_{ck}$ (MPa)	25	MPa	$\gamma_c$	1,5		$f_{cd}$ (MPa)	16,67	MPa	2.2. Informações do aço da Armadura Tubular			Diâmetro exterior	0,0889	m	Espessura	0,0065	m	Módulo de Elasticidade	210	Gpa	Diâmetro interior	0,0759	m	Momento de Inércia	1,44E-06	m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	301,76	kNm <sup>2</sup>	Área de aço	1,68E-03	m <sup>2</sup>	$f_{yk}$	595	MPa	$\gamma_s$	1,00		$f_{td}$	595,00	MPa	2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO			Euler e Pierre Souche			Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>	Pierre Souche			m	5,872		w	0,125		<b>ÁBACOS DE SOUCHE</b>			42			2.4. Definir CORROSÃO		CORROSÃO	<input type="checkbox"/>	Tempo de vida útil	50 anos	$F_{cor}$	0,5	Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003 m	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="5">3.1. Informações do Solo</th></tr> <tr><th colspan="5">PROFUNDIDADES DE SOLO</th></tr> <tr><td>Zona Geotécnica</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)</td><td>5,1</td><td>8,0</td><td>10,4</td><td>25,0</td></tr> <tr><td>Altura (m) (CAMADA DO SOLO)</td><td>0</td><td>2,9</td><td>2,4</td><td>14,6</td></tr> <tr><th colspan="5">VALORES DOS ENSAIOS</th></tr> <tr><td><math>N_{DPM}</math> médio</td><td>0</td><td>22</td><td>37</td><td>55</td></tr> <tr><td><math>N_{SPT}</math></td><td>0</td><td>21</td><td>35</td><td>52</td></tr> <tr><th colspan="5">TIPOS DE SOLO</th></tr> <tr><td>Libre</td><td colspan="4">Comprimento livre da microestaca</td></tr> <tr><td>ZG4</td><td colspan="4">Areia</td></tr> <tr><td>ZG3</td><td colspan="4">Areia</td></tr> <tr><td>ZG2</td><td colspan="4">Areia</td></tr> <tr><td>ZG1</td><td colspan="4">Areia</td></tr> <tr><td>Classificação global do solo LIZZI</td><td colspan="4">Solos rígidos, cascalhos e areias</td></tr> <tr><th colspan="5">PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA</th></tr> <tr><td><math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</td><td>0</td><td>19</td><td>20</td><td>20</td></tr> <tr><td><math>c'</math> (kPa)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td><math>\phi'</math> (°)</td><td>27,10</td><td>33,15</td><td>37,00</td><td>41,33</td></tr> <tr><th colspan="5">OUTROS PARÂMETROS</th></tr> <tr><td>OCR</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>E (MPa)</td><td>0</td><td>92,49</td><td>140,20</td><td>192,52</td></tr> <tr><td><math>\rho_{lim}</math> (MPa)</td><td>0</td><td>1,05</td><td>1,76</td><td>2,62</td></tr> <tr><td><math>E_{s0}</math> (MPa)</td><td>0</td><td>8,70</td><td>15,49</td><td>23,63</td></tr> <tr><td><math>\alpha_c</math></td><td>#####</td><td>0,33</td><td>0,33</td><td>0,33</td></tr> <tr><th colspan="5">3.2. Defina a Injeção da calda e outros parâmetros</th></tr> <tr><td>TIPO</td><td colspan="4">IGU</td></tr> <tr><td>Pressão da injeção</td><td colspan="4">0,50 MPa</td></tr> <tr><td>Condição estrutural</td><td colspan="4">Nova estrutura</td></tr> <tr><td>Fator de influência (solo-estrutura) que minorra o <math>\phi</math></td><td colspan="4">1</td></tr> </table>	3.1. Informações do Solo					PROFUNDIDADES DE SOLO					Zona Geotécnica	4	3	2	1	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	25,0	Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0	2,9	2,4	14,6	VALORES DOS ENSAIOS					$N_{DPM}$ médio	0	22	37	55	$N_{SPT}$	0	21	35	52	TIPOS DE SOLO					Libre	Comprimento livre da microestaca				ZG4	Areia				ZG3	Areia				ZG2	Areia				ZG1	Areia				Classificação global do solo LIZZI	Solos rígidos, cascalhos e areias				PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA					$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20	$c'$ (kPa)	0	0	0	0	$\phi'$ (°)	27,10	33,15	37,00	41,33	OUTROS PARÂMETROS					OCR	1	1	1	1	E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52	$\rho_{lim}$ (MPa)	0	1,05	1,76	2,62	$E_{s0}$ (MPa)	0	8,70	15,49	23,63	$\alpha_c$	#####	0,33	0,33	0,33	3.2. Defina a Injeção da calda e outros parâmetros					TIPO	IGU				Pressão da injeção	0,50 MPa				Condição estrutural	Nova estrutura				Fator de influência (solo-estrutura) que minorra o $\phi$	1				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>FATOR DE SEGURANÇA</th><th>ESTADO LIMITE</th></tr> <tr><td>FS carga crítica</td><td>1,00 <math>\gamma_{af}</math> - carga</td></tr> <tr><td>FS tensão no aço</td><td>1,00 <math>\gamma_{at}</math> - atrito</td></tr> <tr><td>FS seção da raiz</td><td>2,00 <math>\gamma_{sc}</math> - coesão</td></tr> <tr><td></td><td><math>\gamma_{rt}</math> - raiz total</td></tr> <tr><td></td><td><math>\gamma_{rp}</math> - raiz ponta</td></tr> <tr><td></td><td><math>\gamma_{rl}</math> - raiz lateral</td></tr> <tr><td></td><td><math>\gamma_{sa}</math> - aço</td></tr> <tr><td></td><td><math>\gamma_{sc}</math> - calda</td></tr> </table>	FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE	FS carga crítica	1,00 $\gamma_{af}$ - carga	FS tensão no aço	1,00 $\gamma_{at}$ - atrito	FS seção da raiz	2,00 $\gamma_{sc}$ - coesão		$\gamma_{rt}$ - raiz total		$\gamma_{rp}$ - raiz ponta		$\gamma_{rl}$ - raiz lateral		$\gamma_{sa}$ - aço		$\gamma_{sc}$ - calda
Diâmetro de Perfuração	0,160	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Diâmetro efetivo*	0,154	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Comprimento cabeça*	2,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Comprimento livre	2,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Comprimento raiz	14,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Considerar ZG4 como referência	NÃO																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Comprimento efetivo*	9,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Comprimento TOTAL	16,00	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Rigidez a flexão raiz	1162,29	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Rigidez a flexão seção interna	347,38	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
2.1. Informações do Calda de cimento																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Módulo de Elasticidade	28	Gpa																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Momento de Inércia	1,63E-06	m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Rigidez a flexão	45,61	kNm																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Área de Concreto seção interna	0,0045	m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$f_{ck}$ (MPa)	25	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$\gamma_c$	1,5																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
$f_{cd}$ (MPa)	16,67	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
2.2. Informações do aço da Armadura Tubular																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Diâmetro exterior	0,0889	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Espessura	0,0065	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Módulo de Elasticidade	210	Gpa																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Diâmetro interior	0,0759	m																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Momento de Inércia	1,44E-06	m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Rigidez a flexão	301,76	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Área de aço	1,68E-03	m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$f_{yk}$	595	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
$\gamma_s$	1,00																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
$f_{td}$	595,00	MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Euler e Pierre Souche																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Pierre Souche																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
m	5,872																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
w	0,125																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
<b>ÁBACOS DE SOUCHE</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
42																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
2.4. Definir CORROSÃO																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
CORROSÃO	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Tempo de vida útil	50 anos																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
$F_{cor}$	0,5																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003 m																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
3.1. Informações do Solo																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
PROFUNDIDADES DE SOLO																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Zona Geotécnica	4	3	2	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	25,0																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0	2,9	2,4	14,6																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
VALORES DOS ENSAIOS																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
$N_{DPM}$ médio	0	22	37	55																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
$N_{SPT}$	0	21	35	52																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
TIPOS DE SOLO																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Libre	Comprimento livre da microestaca																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
ZG4	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
ZG3	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
ZG2	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
ZG1	Areia																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Classificação global do solo LIZZI	Solos rígidos, cascalhos e areias																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
$c'$ (kPa)	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
$\phi'$ (°)	27,10	33,15	37,00	41,33																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
OUTROS PARÂMETROS																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
OCR	1	1	1	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
$\rho_{lim}$ (MPa)	0	1,05	1,76	2,62																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
$E_{s0}$ (MPa)	0	8,70	15,49	23,63																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
$\alpha_c$	#####	0,33	0,33	0,33																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
3.2. Defina a Injeção da calda e outros parâmetros																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
TIPO	IGU																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Pressão da injeção	0,50 MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Condição estrutural	Nova estrutura																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Fator de influência (solo-estrutura) que minorra o $\phi$	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
FS carga crítica	1,00 $\gamma_{af}$ - carga																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
FS tensão no aço	1,00 $\gamma_{at}$ - atrito																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
FS seção da raiz	2,00 $\gamma_{sc}$ - coesão																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	$\gamma_{rt}$ - raiz total																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	$\gamma_{rp}$ - raiz ponta																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	$\gamma_{rl}$ - raiz lateral																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	$\gamma_{sa}$ - aço																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	$\gamma_{sc}$ - calda																																																																																																																																																																																																																																																																																																				

Figura 150 - Informações paramétricas - 6º Caso - Comprimento da raiz = 14 m.

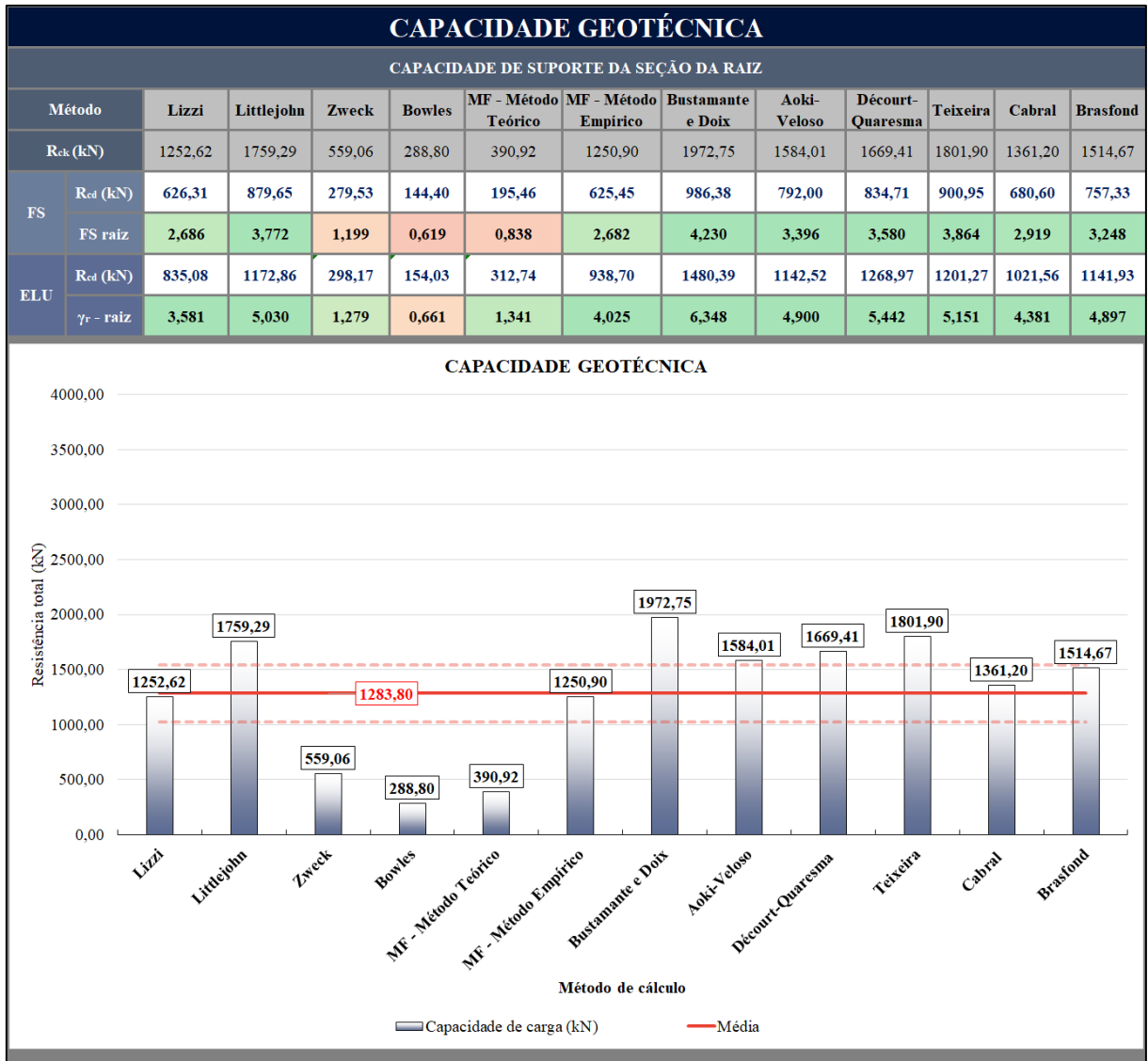



Figura 151 - Resultados - 6º Caso - Comprimento da raiz = 14 m.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

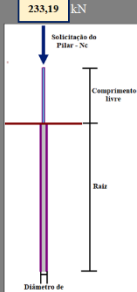
1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA																																																																																																									
<p><b>233,19 kN</b></p>  <p>Solicitação do Pilar, Nc</p> <p>Comprimento livre</p> <p>Diâmetro de perfuração</p> <p>Comprimento livre</p> <p>Diâmetro de perfuração</p>		<p style="background-color: #1a3d4d; color: white; padding: 2px;">2.1. Informações do <b>Calda de cimento</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>28</td><td>Gpa</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>1,63E-06</td><td>m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>45,61</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de Concreto seção interna</td><td>0,0045</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>f<sub>ck</sub> (MPa)</td><td>25</td><td>MPa</td></tr> <tr><td>γc</td><td>1,5</td><td></td></tr> <tr><td>f<sub>cd</sub> (MPa)</td><td>16,67</td><td>MPa</td></tr> </table>		Módulo de Elasticidade	28	Gpa	Momento de Inércia	1,63E-06	m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	45,61	kNm <sup>2</sup>	Área de Concreto seção interna	0,0045	m <sup>2</sup>	f <sub>ck</sub> (MPa)	25	MPa	γc	1,5		f <sub>cd</sub> (MPa)	16,67	MPa	<p style="background-color: #1a3d4d; color: white; padding: 2px;">3.1. Informações do <b>Solo</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="5">PROFUNDIDADES DE SOLO</th></tr> <tr><td>Zona Geotécnica</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)</td><td>5,1</td><td>8,0</td><td>10,4</td><td>25,0</td></tr> <tr><td>Altura (m) (CAMADA DO SOLO)</td><td>0</td><td>2,9</td><td>2,4</td><td>14,6</td></tr> <tr><th colspan="5">VALORES DOS ENSAIOS</th></tr> <tr><td>NFM solo</td><td>0</td><td>22</td><td>37</td><td>55</td></tr> <tr><td>Nspr</td><td>0</td><td>21</td><td>35</td><td>52</td></tr> <tr><th colspan="5">TIPOS DE SOLO</th></tr> <tr><td>Libre</td><td colspan="4">Comprimento livre da microestaca</td></tr> <tr><td>ZG4</td><td colspan="4">Areia</td></tr> <tr><td>ZG3</td><td colspan="4">Areia</td></tr> <tr><td>ZG2</td><td colspan="4">Areia</td></tr> <tr><td>ZG1</td><td colspan="4">Areia</td></tr> </table> <p>Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias</p>		PROFUNDIDADES DE SOLO					Zona Geotécnica	4	3	2	1	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	25,0	Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0	2,9	2,4	14,6	VALORES DOS ENSAIOS					NFM solo	0	22	37	55	Nspr	0	21	35	52	TIPOS DE SOLO					Libre	Comprimento livre da microestaca				ZG4	Areia				ZG3	Areia				ZG2	Areia				ZG1	Areia				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>FATOR DE SEGURANÇA</th><th>ESTADO LIMITE</th></tr> <tr><td>FS carga crítica</td><td>1,00 γ<sub>st</sub> - carga</td></tr> <tr><td>FS tensão no aço</td><td>1,00 γ<sub>msl</sub> - atrito</td></tr> <tr><td>FS seção da raiz</td><td>2,00 γ<sub>msl</sub> - coesão</td></tr> <tr><td></td><td>γ<sub>st</sub> - raiz total</td></tr> <tr><td></td><td>γ<sub>st</sub> - raiz ponta</td></tr> <tr><td></td><td>γ<sub>st</sub> - raiz lateral</td></tr> <tr><td></td><td>γ<sub>st</sub> - aço</td></tr> <tr><td></td><td>γ<sub>st</sub> - calda</td></tr> </table>		FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE	FS carga crítica	1,00 γ <sub>st</sub> - carga	FS tensão no aço	1,00 γ <sub>msl</sub> - atrito	FS seção da raiz	2,00 γ <sub>msl</sub> - coesão		γ <sub>st</sub> - raiz total		γ <sub>st</sub> - raiz ponta		γ <sub>st</sub> - raiz lateral		γ <sub>st</sub> - aço		γ <sub>st</sub> - calda
Módulo de Elasticidade	28	Gpa																																																																																																													
Momento de Inércia	1,63E-06	m <sup>4</sup>																																																																																																													
Rigidez a flexão	45,61	kNm <sup>2</sup>																																																																																																													
Área de Concreto seção interna	0,0045	m <sup>2</sup>																																																																																																													
f <sub>ck</sub> (MPa)	25	MPa																																																																																																													
γc	1,5																																																																																																														
f <sub>cd</sub> (MPa)	16,67	MPa																																																																																																													
PROFUNDIDADES DE SOLO																																																																																																															
Zona Geotécnica	4	3	2	1																																																																																																											
Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	25,0																																																																																																											
Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0	2,9	2,4	14,6																																																																																																											
VALORES DOS ENSAIOS																																																																																																															
NFM solo	0	22	37	55																																																																																																											
Nspr	0	21	35	52																																																																																																											
TIPOS DE SOLO																																																																																																															
Libre	Comprimento livre da microestaca																																																																																																														
ZG4	Areia																																																																																																														
ZG3	Areia																																																																																																														
ZG2	Areia																																																																																																														
ZG1	Areia																																																																																																														
FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE																																																																																																														
FS carga crítica	1,00 γ <sub>st</sub> - carga																																																																																																														
FS tensão no aço	1,00 γ <sub>msl</sub> - atrito																																																																																																														
FS seção da raiz	2,00 γ <sub>msl</sub> - coesão																																																																																																														
	γ <sub>st</sub> - raiz total																																																																																																														
	γ <sub>st</sub> - raiz ponta																																																																																																														
	γ <sub>st</sub> - raiz lateral																																																																																																														
	γ <sub>st</sub> - aço																																																																																																														
	γ <sub>st</sub> - calda																																																																																																														
<p><b>Comprimento cabeça*</b> 0,154 m</p> <p><b>Comprimento cabeça*</b> 2,00 m</p> <p><b>Comprimento livre</b> 2,00 m</p> <p><b>Comprimento raiz</b> 15,00 m</p> <p><b>Considerar ZG4 como referência</b> NÃO</p> <p><b>Comprimento efetivo*</b> 9,50 m</p> <p><b>Comprimento TOTAL</b> 17,00 m</p> <p><b>Rigidez a flexão raiz</b> 1162,29 kNm<sup>2</sup></p> <p><b>Rigidez a flexão seção interna</b> 347,38 kNm<sup>2</sup></p> <p><b>Diâmetro efetivo</b> Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.</p> <p><b>Comprimento cabeça</b> Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.</p> <p><b>Comprimento efetivo</b> L<sub>efetivo</sub> = L<sub>livre</sub> + L<sub>raiz</sub></p>		<p style="background-color: #1a3d4d; color: white; padding: 2px;">2.2. Informações do <b>aço da Armadura Tubular</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Diâmetro exterior</td><td>0,0889</td><td>m</td></tr> <tr><td>Espessura</td><td>0,0065</td><td>m</td></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>210</td><td>Gpa</td></tr> <tr><td>Diâmetro interior</td><td>0,0759</td><td>m</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>1,44E-06</td><td>m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>301,76</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de aço</td><td>1,68E-03</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>f<sub>yk</sub></td><td>595</td><td>MPa</td></tr> <tr><td>γ<sub>s</sub></td><td>1,00</td><td></td></tr> <tr><td>f<sub>sd</sub></td><td>595,00</td><td>MPa</td></tr> </table>		Diâmetro exterior	0,0889	m	Espessura	0,0065	m	Módulo de Elasticidade	210	Gpa	Diâmetro interior	0,0759	m	Momento de Inércia	1,44E-06	m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	301,76	kNm <sup>2</sup>	Área de aço	1,68E-03	m <sup>2</sup>	f <sub>yk</sub>	595	MPa	γ <sub>s</sub>	1,00		f <sub>sd</sub>	595,00	MPa	<p style="background-color: #1a3d4d; color: white; padding: 2px;">3.2. Define a <b>Injeção da calda</b> e outros parâmetros</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>TIPO</td><td>IGU</td></tr> <tr><td>Pressão da injeção</td><td>0,50 MPa</td></tr> <tr><td>Condição estrutural</td><td>Nova estrutura</td></tr> <tr><td>Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ</td><td>1</td></tr> </table>		TIPO	IGU	Pressão da injeção	0,50 MPa	Condição estrutural	Nova estrutura	Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ	1																																																																				
Diâmetro exterior	0,0889	m																																																																																																													
Espessura	0,0065	m																																																																																																													
Módulo de Elasticidade	210	Gpa																																																																																																													
Diâmetro interior	0,0759	m																																																																																																													
Momento de Inércia	1,44E-06	m <sup>4</sup>																																																																																																													
Rigidez a flexão	301,76	kNm <sup>2</sup>																																																																																																													
Área de aço	1,68E-03	m <sup>2</sup>																																																																																																													
f <sub>yk</sub>	595	MPa																																																																																																													
γ <sub>s</sub>	1,00																																																																																																														
f <sub>sd</sub>	595,00	MPa																																																																																																													
TIPO	IGU																																																																																																														
Pressão da injeção	0,50 MPa																																																																																																														
Condição estrutural	Nova estrutura																																																																																																														
Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ	1																																																																																																														
<p style="background-color: #1a3d4d; color: white; padding: 2px;">2.3. Parâmetros individuais de cada <b>MÉTODO</b></p> <p style="background-color: #1a3d4d; color: white; padding: 2px;">Euler e Pierre Souche</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Rigidez da mola Winkler</td><td>6</td><td>MN/m<sup>3</sup></td></tr> </table> <p style="background-color: #1a3d4d; color: white; padding: 2px;">Pierre Souche</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>m</td><td>6,239</td></tr> <tr><td>w</td><td>0,118</td></tr> </table> <p style="background-color: #1a3d4d; color: white; padding: 2px; text-align: center;">ABACOS DE SOUCHE</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td></td><td>42</td></tr> </table>		Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>	m	6,239	w	0,118		42	<p style="background-color: #1a3d4d; color: white; padding: 2px;">2.4. Definir <b>CORROSÃO</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>CORROSÃO</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Tempo de vida útil</td><td>50 anos</td></tr> <tr><td>F<sub>u,t</sub></td><td>0,5</td></tr> <tr><td>Perda de espessura do tubo corrosão</td><td>0,0003 m</td></tr> </table>		CORROSÃO	<input type="checkbox"/>	Tempo de vida útil	50 anos	F <sub>u,t</sub>	0,5	Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003 m	<p style="background-color: #1a3d4d; color: white; padding: 2px;">4.4. Definir <b>PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>γ (kN/m<sup>3</sup>)</td><td>0</td><td>19</td><td>20</td><td>20</td></tr> <tr><td>c' (kPa)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>φ' (°)</td><td>27,10</td><td>33,15</td><td>37,00</td><td>41,33</td></tr> <tr><th colspan="5">OUTROS PARÂMETROS</th></tr> <tr><td>OCR</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>E (MPa)</td><td>0</td><td>92,49</td><td>140,20</td><td>192,52</td></tr> <tr><td>p<sub>lim</sub> (MPa)</td><td>0</td><td>1,05</td><td>1,76</td><td>2,62</td></tr> <tr><td>E<sub>st</sub> (MPa)</td><td>0</td><td>8,70</td><td>15,49</td><td>23,63</td></tr> <tr><td>α<sub>s</sub></td><td>#####</td><td>0,33</td><td>0,33</td><td>0,33</td></tr> </table>		γ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20	c' (kPa)	0	0	0	0	φ' (°)	27,10	33,15	37,00	41,33	OUTROS PARÂMETROS					OCR	1	1	1	1	E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52	p <sub>lim</sub> (MPa)	0	1,05	1,76	2,62	E <sub>st</sub> (MPa)	0	8,70	15,49	23,63	α <sub>s</sub>	#####	0,33	0,33	0,33																																												
Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>																																																																																																													
m	6,239																																																																																																														
w	0,118																																																																																																														
	42																																																																																																														
CORROSÃO	<input type="checkbox"/>																																																																																																														
Tempo de vida útil	50 anos																																																																																																														
F <sub>u,t</sub>	0,5																																																																																																														
Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003 m																																																																																																														
γ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20																																																																																																											
c' (kPa)	0	0	0	0																																																																																																											
φ' (°)	27,10	33,15	37,00	41,33																																																																																																											
OUTROS PARÂMETROS																																																																																																															
OCR	1	1	1	1																																																																																																											
E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52																																																																																																											
p <sub>lim</sub> (MPa)	0	1,05	1,76	2,62																																																																																																											
E <sub>st</sub> (MPa)	0	8,70	15,49	23,63																																																																																																											
α <sub>s</sub>	#####	0,33	0,33	0,33																																																																																																											

Figura 152 - Informações paramétricas - 6º Caso - Comprimento da raiz = 15 m.

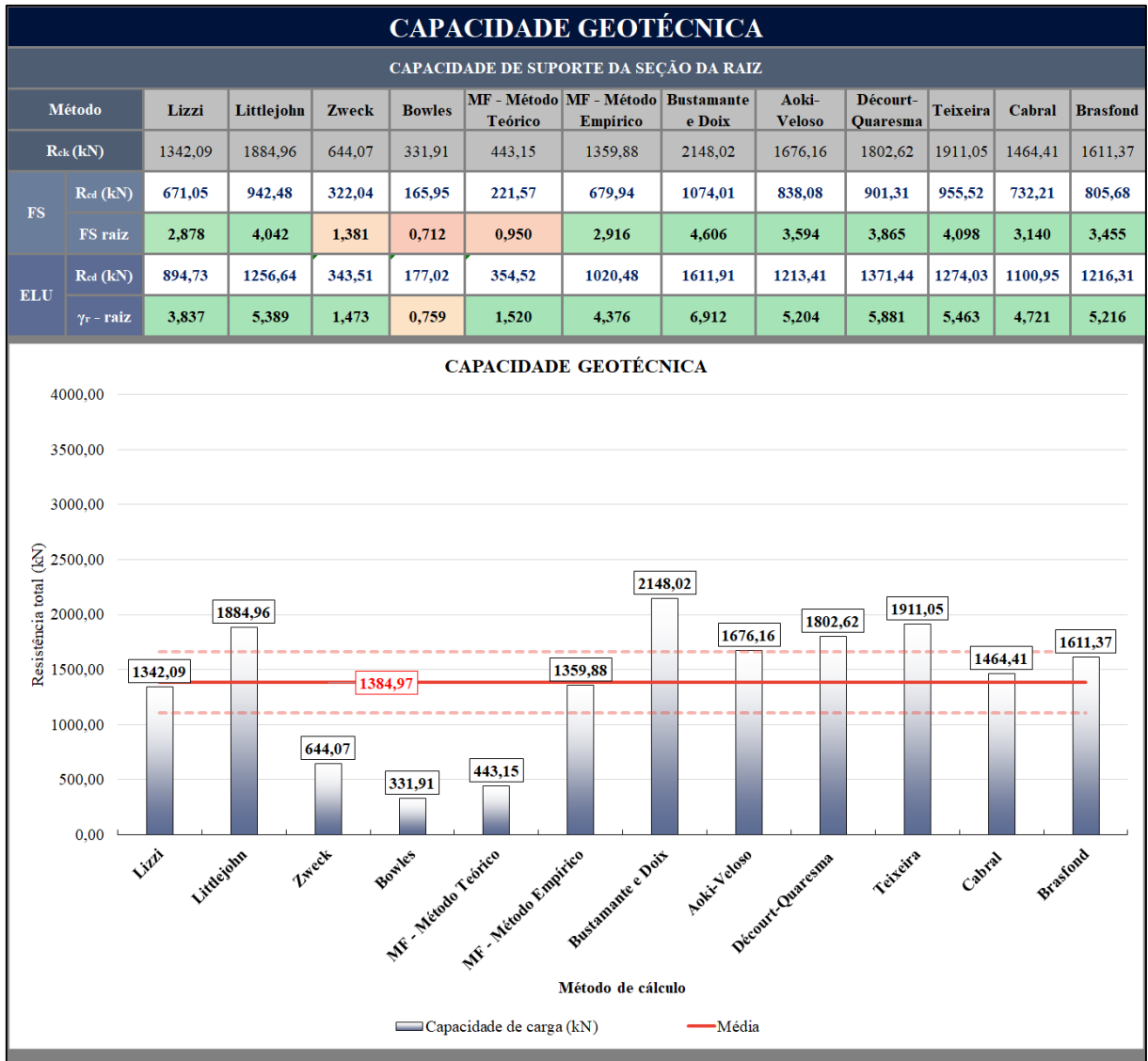



Figura 153 - Resultados - 6º Caso - Comprimento da raiz = 15 m.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA	
Diâmetro de Perforação	0,160 m	<b>2.1. Informações do Calda de cimento</b>		<b>3.1. Informações do Solo</b>		FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE
Diâmetro efetivo*	0,154 m	Módulo de Elasticidade	28 Gpa	PROFUNDIDADES DE SOLO		FS carga crítica	1,00
Comprimento cabeça*	2,00 m	Momento de Inércia	1,63E-06 m <sup>4</sup>	Zona Geotécnica		FS tensão no aço	1,00
Comprimento livre	2,00 m	Rigidez a flexão	45,61 kNm <sup>2</sup>	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)		FS secção da raiz	2,00
Comprimento raiz	16,00 m	Área de Concreto secção interna	0,0045 m <sup>2</sup>	Altura (m) (CAMADAS DO SOLO)			
Considerar ZG4 como referência	NÃO	f <sub>ck</sub> (MPa)	25 MPa	VALORES DOS ENSAIOS			
Comprimento efetivo*	10,00 m	γc	1,5	NFM solo			
Comprimento TOTAL	18,00 m	f <sub>td</sub> (MPa)	16,67 MPa	N <sub>SPZ</sub>			
Rigidez a flexão raiz	1162,29 kNm <sup>2</sup>	<b>2.2. Informações do aço da Armadura Tubular</b>		TIPOS DE SOLO			
Rigidez a flexão secção interna	347,38 kNm <sup>2</sup>	Diâmetro exterior	0,0889 m	Livre			
Diâmetro efetivo	Valor do diâmetro fornecido de acordo com a perfuração.	Espessura	0,0065 m	Comprimento livre da microestaca			
Comprimento cabeça	Parte da microestaca que está acima do solo, não é necessariamente o comprimento livre.	Módulo de Elasticidade	210 Gpa	ZG4			
Comprimento efetivo	L <sub>efetivo</sub> = L <sub>livre</sub> + L <sub>cabeça</sub>	Diâmetro interior	0,0759 m	ZG3			
		Momento de Inércia	1,44E-06 m <sup>4</sup>	ZG2			
		Rigidez a flexão	301,76 kNm <sup>2</sup>	ZG1			
		Área de aço	1,68E-03 m <sup>2</sup>	Classificação global do solo LIZZI		Solos rígidos, cascalhos e areias	
		f <sub>ca</sub>	595 MPa	PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA			
		γs	1,00	γ (kN/m <sup>3</sup> )		0	19
		f <sub>ca</sub>	595,00 MPa	c' (kPa)		0	0
				φ' (°)		27,10	33,15
				OUTROS PARÂMETROS			
				OCR		1	1
				E (MPa)		0	92,49
				p <sub>lim</sub> (MPa)		0	1,05
				E <sub>u</sub> (MPa)		0	8,70
				α <sub>s</sub>		#####	0,33
				<b>3.2. Define a injeção da calda e outros parâmetros</b>			
				TIPO		IGU	
				Pressão da injeção		0,50 MPa	
				Condição estrutural		Nova estrutura	
				Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ		1	
				<b>2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO</b>			
				Euler e Pierre Souche			
				Rigidez da mola Winkler		6 MN/m <sup>3</sup>	
				Pierre Souche			
				m		6,606	
				w		0,111	
				ABACOS DE SOUCHE		42	
				<b>2.4. Definir CORROSÃO</b>			
				CORROSÃO		<input type="checkbox"/>	
				Tempo de vida útil		50 anos	
				Fu,t		0,5	
				Perda de espessura do tubo corrosão		0,0003 m	

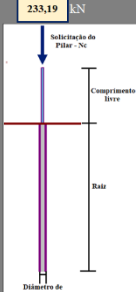


Figura 154 - Informações paramétricas - 6º Caso - Comprimento da raiz = 16 m.

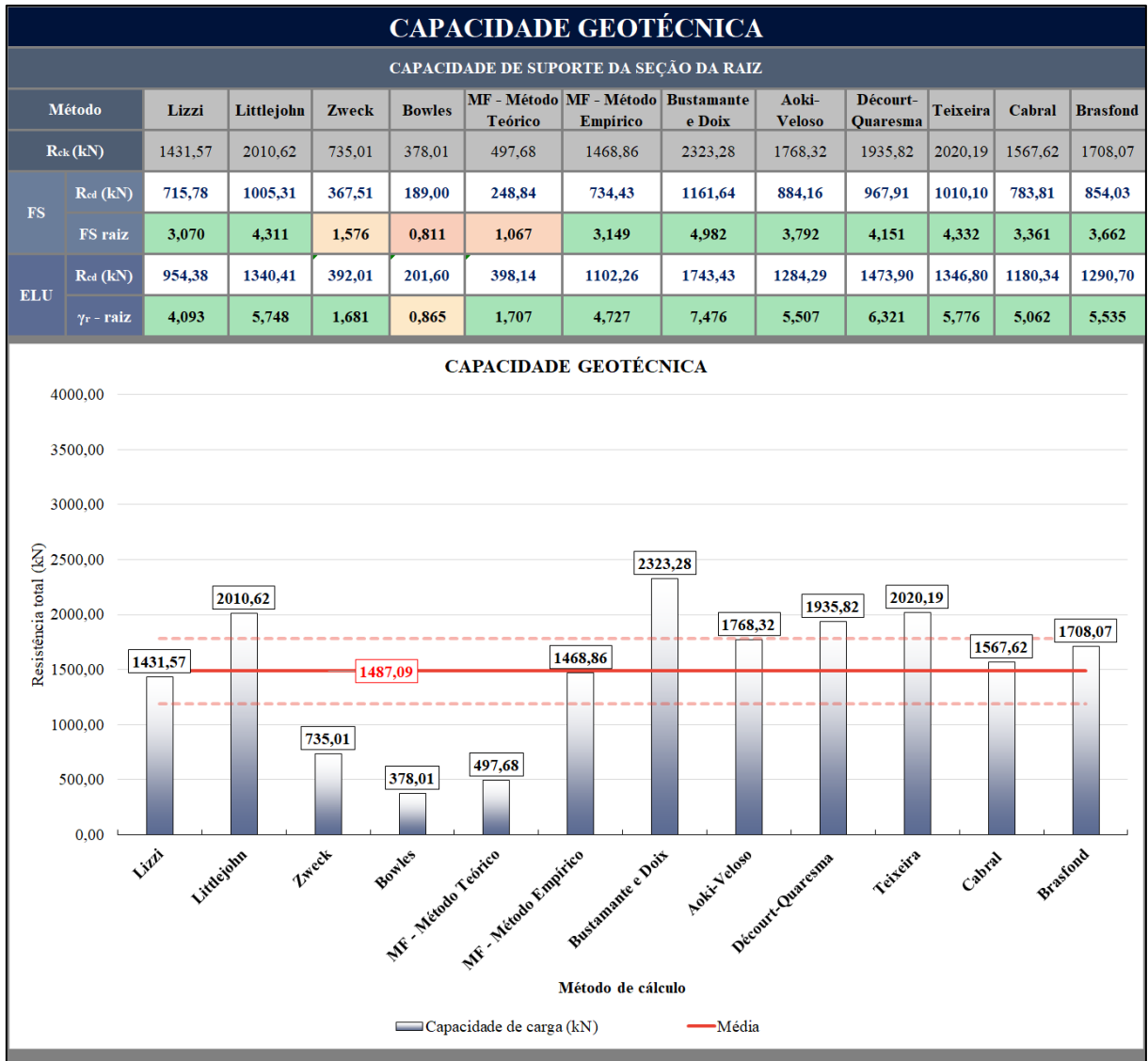



Figura 155 - Resultados - 6º Caso - Comprimento da raiz = 16 m.



**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

## CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DETALHADA

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso

VOLTAR
RESULTADO

1. DEFINIR AS DIMENSÕES DA MICROESTACA		2. CAPACIDADE ESTRUTURAL		3. CAPACIDADE GEOTÉCNICA		4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA																																																																																																																																																																																																			
<p><b>2.1. Informações do Calda de cimento</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>28</td><td>Gpa</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>1,63E-06</td><td>m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>45,61</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de Concreto seção interna</td><td>0,0045</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>f<sub>ck</sub> (MPa)</td><td>25</td><td>MPa</td></tr> <tr><td>γ<sub>c</sub></td><td>1,5</td><td></td></tr> <tr><td>f<sub>cd</sub> (MPa)</td><td>16,67</td><td>MPa</td></tr> </table>		Módulo de Elasticidade	28	Gpa	Momento de Inércia	1,63E-06	m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	45,61	kNm <sup>2</sup>	Área de Concreto seção interna	0,0045	m <sup>2</sup>	f <sub>ck</sub> (MPa)	25	MPa	γ <sub>c</sub>	1,5		f <sub>cd</sub> (MPa)	16,67	MPa	<p><b>2.2. Informações do aço da Armadura Tubular</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Diâmetro exterior</td><td>0,0889</td><td>m</td></tr> <tr><td>Espessura</td><td>0,0065</td><td>m</td></tr> <tr><td>Módulo de Elasticidade</td><td>210</td><td>Gpa</td></tr> <tr><td>Diâmetro interior</td><td>0,0759</td><td>m</td></tr> <tr><td>Momento de Inércia</td><td>1,44E-06</td><td>m<sup>4</sup></td></tr> <tr><td>Rigidez a flexão</td><td>301,76</td><td>kNm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Área de aço</td><td>1,68E-03</td><td>m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>f<sub>yk</sub></td><td>595</td><td>MPa</td></tr> <tr><td>γ<sub>s</sub></td><td>1,00</td><td></td></tr> <tr><td>f<sub>sd</sub></td><td>595,00</td><td>MPa</td></tr> </table>		Diâmetro exterior	0,0889	m	Espessura	0,0065	m	Módulo de Elasticidade	210	Gpa	Diâmetro interior	0,0759	m	Momento de Inércia	1,44E-06	m <sup>4</sup>	Rigidez a flexão	301,76	kNm <sup>2</sup>	Área de aço	1,68E-03	m <sup>2</sup>	f <sub>yk</sub>	595	MPa	γ <sub>s</sub>	1,00		f <sub>sd</sub>	595,00	MPa	<p><b>3.1. Informações do Solo</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="4">PROFUNDIDADES DE SOLO</th></tr> <tr><td>Zona Geotécnica</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)</td><td>5,1</td><td>8,0</td><td>10,4</td><td>25,0</td></tr> <tr><td>Altura (m) (CAMADA DO SOLO)</td><td>0</td><td>2,9</td><td>2,4</td><td>14,6</td></tr> <tr><th colspan="4">VALORES DOS ENSAIOS</th></tr> <tr><td>N<sub>FDM</sub> sítio</td><td>0</td><td>22</td><td>37</td><td>55</td></tr> <tr><td>N<sub>SPT</sub></td><td>0</td><td>21</td><td>35</td><td>52</td></tr> <tr><th colspan="4">TIPOS DE SOLO</th></tr> <tr><td>Libre</td><td colspan="3">Comprimento livre da microestaca</td></tr> <tr><td>ZG4</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td>ZG3</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td>ZG2</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td>ZG1</td><td colspan="3">Areia</td></tr> <tr><td colspan="4">Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias</td></tr> <tr><th colspan="4">PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA</th></tr> <tr><td>γ (kN/m<sup>3</sup>)</td><td>0</td><td>19</td><td>20</td><td>20</td></tr> <tr><td>c' (kPa)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>φ' (°)</td><td>27,10</td><td>33,15</td><td>37,00</td><td>41,33</td></tr> <tr><th colspan="4">OUTROS PARÂMETROS</th></tr> <tr><td>OCR</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>E (MPa)</td><td>0</td><td>92,49</td><td>140,20</td><td>192,52</td></tr> <tr><td>p<sub>lim</sub> (MPa)</td><td>0</td><td>1,05</td><td>1,76</td><td>2,62</td></tr> <tr><td>E<sub>u</sub> (MPa)</td><td>0</td><td>8,70</td><td>15,49</td><td>23,63</td></tr> <tr><td>α<sub>s</sub></td><td>#####</td><td>0,33</td><td>0,33</td><td>0,33</td></tr> </table>		PROFUNDIDADES DE SOLO				Zona Geotécnica	4	3	2	1	Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	25,0	Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0	2,9	2,4	14,6	VALORES DOS ENSAIOS				N <sub>FDM</sub> sítio	0	22	37	55	N <sub>SPT</sub>	0	21	35	52	TIPOS DE SOLO				Libre	Comprimento livre da microestaca			ZG4	Areia			ZG3	Areia			ZG2	Areia			ZG1	Areia			Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias				PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA				γ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20	c' (kPa)	0	0	0	0	φ' (°)	27,10	33,15	37,00	41,33	OUTROS PARÂMETROS				OCR	1	1	1	1	E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52	p <sub>lim</sub> (MPa)	0	1,05	1,76	2,62	E <sub>u</sub> (MPa)	0	8,70	15,49	23,63	α <sub>s</sub>	#####	0,33	0,33	0,33	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>FATOR DE SEGURANÇA</th><th>ESTADO LIMITE</th></tr> <tr><td>FS carga crítica</td><td>1,00</td><td>γ<sub>st</sub> - carga</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>FS tensão no aço</td><td>1,00</td><td>γ<sub>msl</sub> - atrito</td><td>1,25</td></tr> <tr><td>FS seção da raiz</td><td>2,00</td><td>γ<sub>msl</sub> - coesão</td><td>1,25</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>γ<sub>st</sub> - raiz total</td><td>1,50</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>γ<sub>st</sub> - raiz ponta</td><td>1,60</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>γ<sub>st</sub> - raiz lateral</td><td>1,30</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>γ<sub>st</sub> - aço</td><td>1,00</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>γ<sub>st</sub> - calda</td><td>1,50</td></tr> </table>		FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE	FS carga crítica	1,00	γ <sub>st</sub> - carga	1,00	FS tensão no aço	1,00	γ <sub>msl</sub> - atrito	1,25	FS seção da raiz	2,00	γ <sub>msl</sub> - coesão	1,25			γ <sub>st</sub> - raiz total	1,50			γ <sub>st</sub> - raiz ponta	1,60			γ <sub>st</sub> - raiz lateral	1,30			γ <sub>st</sub> - aço	1,00			γ <sub>st</sub> - calda	1,50
Módulo de Elasticidade	28	Gpa																																																																																																																																																																																																							
Momento de Inércia	1,63E-06	m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																							
Rigidez a flexão	45,61	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																							
Área de Concreto seção interna	0,0045	m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																							
f <sub>ck</sub> (MPa)	25	MPa																																																																																																																																																																																																							
γ <sub>c</sub>	1,5																																																																																																																																																																																																								
f <sub>cd</sub> (MPa)	16,67	MPa																																																																																																																																																																																																							
Diâmetro exterior	0,0889	m																																																																																																																																																																																																							
Espessura	0,0065	m																																																																																																																																																																																																							
Módulo de Elasticidade	210	Gpa																																																																																																																																																																																																							
Diâmetro interior	0,0759	m																																																																																																																																																																																																							
Momento de Inércia	1,44E-06	m <sup>4</sup>																																																																																																																																																																																																							
Rigidez a flexão	301,76	kNm <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																							
Área de aço	1,68E-03	m <sup>2</sup>																																																																																																																																																																																																							
f <sub>yk</sub>	595	MPa																																																																																																																																																																																																							
γ <sub>s</sub>	1,00																																																																																																																																																																																																								
f <sub>sd</sub>	595,00	MPa																																																																																																																																																																																																							
PROFUNDIDADES DE SOLO																																																																																																																																																																																																									
Zona Geotécnica	4	3	2	1																																																																																																																																																																																																					
Profundidade (m) (CAMADAS DO SOLO)	5,1	8,0	10,4	25,0																																																																																																																																																																																																					
Altura (m) (CAMADA DO SOLO)	0	2,9	2,4	14,6																																																																																																																																																																																																					
VALORES DOS ENSAIOS																																																																																																																																																																																																									
N <sub>FDM</sub> sítio	0	22	37	55																																																																																																																																																																																																					
N <sub>SPT</sub>	0	21	35	52																																																																																																																																																																																																					
TIPOS DE SOLO																																																																																																																																																																																																									
Libre	Comprimento livre da microestaca																																																																																																																																																																																																								
ZG4	Areia																																																																																																																																																																																																								
ZG3	Areia																																																																																																																																																																																																								
ZG2	Areia																																																																																																																																																																																																								
ZG1	Areia																																																																																																																																																																																																								
Classificação global do solo LIZZI: Solos rígidos, cascalhos e areias																																																																																																																																																																																																									
PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA																																																																																																																																																																																																									
γ (kN/m <sup>3</sup> )	0	19	20	20																																																																																																																																																																																																					
c' (kPa)	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																					
φ' (°)	27,10	33,15	37,00	41,33																																																																																																																																																																																																					
OUTROS PARÂMETROS																																																																																																																																																																																																									
OCR	1	1	1	1																																																																																																																																																																																																					
E (MPa)	0	92,49	140,20	192,52																																																																																																																																																																																																					
p <sub>lim</sub> (MPa)	0	1,05	1,76	2,62																																																																																																																																																																																																					
E <sub>u</sub> (MPa)	0	8,70	15,49	23,63																																																																																																																																																																																																					
α <sub>s</sub>	#####	0,33	0,33	0,33																																																																																																																																																																																																					
FATOR DE SEGURANÇA	ESTADO LIMITE																																																																																																																																																																																																								
FS carga crítica	1,00	γ <sub>st</sub> - carga	1,00																																																																																																																																																																																																						
FS tensão no aço	1,00	γ <sub>msl</sub> - atrito	1,25																																																																																																																																																																																																						
FS seção da raiz	2,00	γ <sub>msl</sub> - coesão	1,25																																																																																																																																																																																																						
		γ <sub>st</sub> - raiz total	1,50																																																																																																																																																																																																						
		γ <sub>st</sub> - raiz ponta	1,60																																																																																																																																																																																																						
		γ <sub>st</sub> - raiz lateral	1,30																																																																																																																																																																																																						
		γ <sub>st</sub> - aço	1,00																																																																																																																																																																																																						
		γ <sub>st</sub> - calda	1,50																																																																																																																																																																																																						
<p><b>2.3. Parâmetros individuais de cada MÉTODO</b></p> <p>Euler e Pierre Souche</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Rigidez da mola Winkler</td><td>6</td><td>MN/m<sup>3</sup></td></tr> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;">Pierre Souche</td></tr> <tr><td>m</td><td>6,973</td><td></td></tr> <tr><td>w</td><td>0,105</td><td></td></tr> <tr><td colspan="3" style="text-align: center;">ABACOS DE SOUCHE</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>42</td></tr> </table>		Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>	Pierre Souche			m	6,973		w	0,105		ABACOS DE SOUCHE					42	<p><b>3.2. Define a Injeção da calda e outros parâmetros</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>TIPO</td><td>IGU</td></tr> <tr><td>Pressão da injeção</td><td>0,50 MPa</td></tr> <tr><td>Condição estrutural</td><td>Nova estrutura</td></tr> <tr><td>Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ</td><td>1</td></tr> </table>		TIPO	IGU	Pressão da injeção	0,50 MPa	Condição estrutural	Nova estrutura	Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ	1																																																																																																																																																																												
Rigidez da mola Winkler	6	MN/m <sup>3</sup>																																																																																																																																																																																																							
Pierre Souche																																																																																																																																																																																																									
m	6,973																																																																																																																																																																																																								
w	0,105																																																																																																																																																																																																								
ABACOS DE SOUCHE																																																																																																																																																																																																									
		42																																																																																																																																																																																																							
TIPO	IGU																																																																																																																																																																																																								
Pressão da injeção	0,50 MPa																																																																																																																																																																																																								
Condição estrutural	Nova estrutura																																																																																																																																																																																																								
Fator de influência (solo-estrutura) que minora o φ	1																																																																																																																																																																																																								
<p><b>2.4. Definir CORROSÃO</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>CORROSÃO</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Tempo de vida útil</td><td>50</td><td>anos</td></tr> <tr><td>F<sub>u,t</sub></td><td>0,5</td></tr> <tr><td>Perda de espessura do tubo corrosão</td><td>0,0003</td><td>m</td></tr> </table>		CORROSÃO	<input type="checkbox"/>	Tempo de vida útil	50	anos	F <sub>u,t</sub>	0,5	Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003	m																																																																																																																																																																																														
CORROSÃO	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																								
Tempo de vida útil	50	anos																																																																																																																																																																																																							
F <sub>u,t</sub>	0,5																																																																																																																																																																																																								
Perda de espessura do tubo corrosão	0,0003	m																																																																																																																																																																																																							

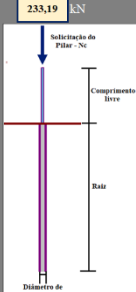


Figura 156 - Informações paramétricas - 6º Caso - Comprimento da raiz = 17 m.

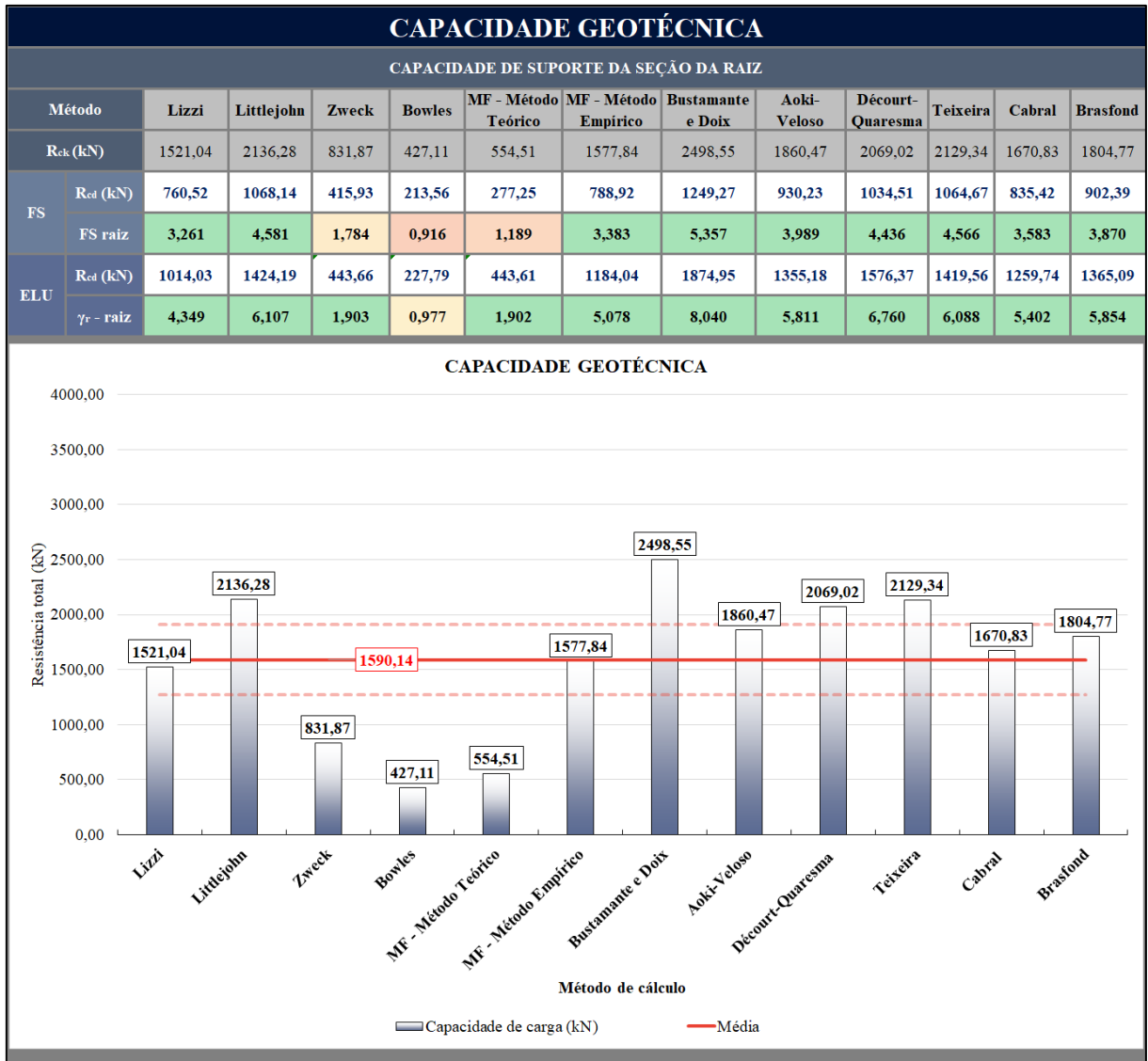


Figura 157 - Resultados - 6º Caso - Comprimento da raiz = 17 m.

## APÊNDICE A.7 – 7º CASO – PRESSÃO DE INJEÇÃO

3.2. Defina a Injeção da calda e outros parâmetros	
TIPO	IGU
Pressão da injeção	0,60 MPa
Condição estrutural	Nova estrutura
Fator de influência (solo-estrutura) que minora o $\phi$	1

Figura 158 - Informações paramétricas - 7º Caso - Pressão da injeção = 0,6 MPa.

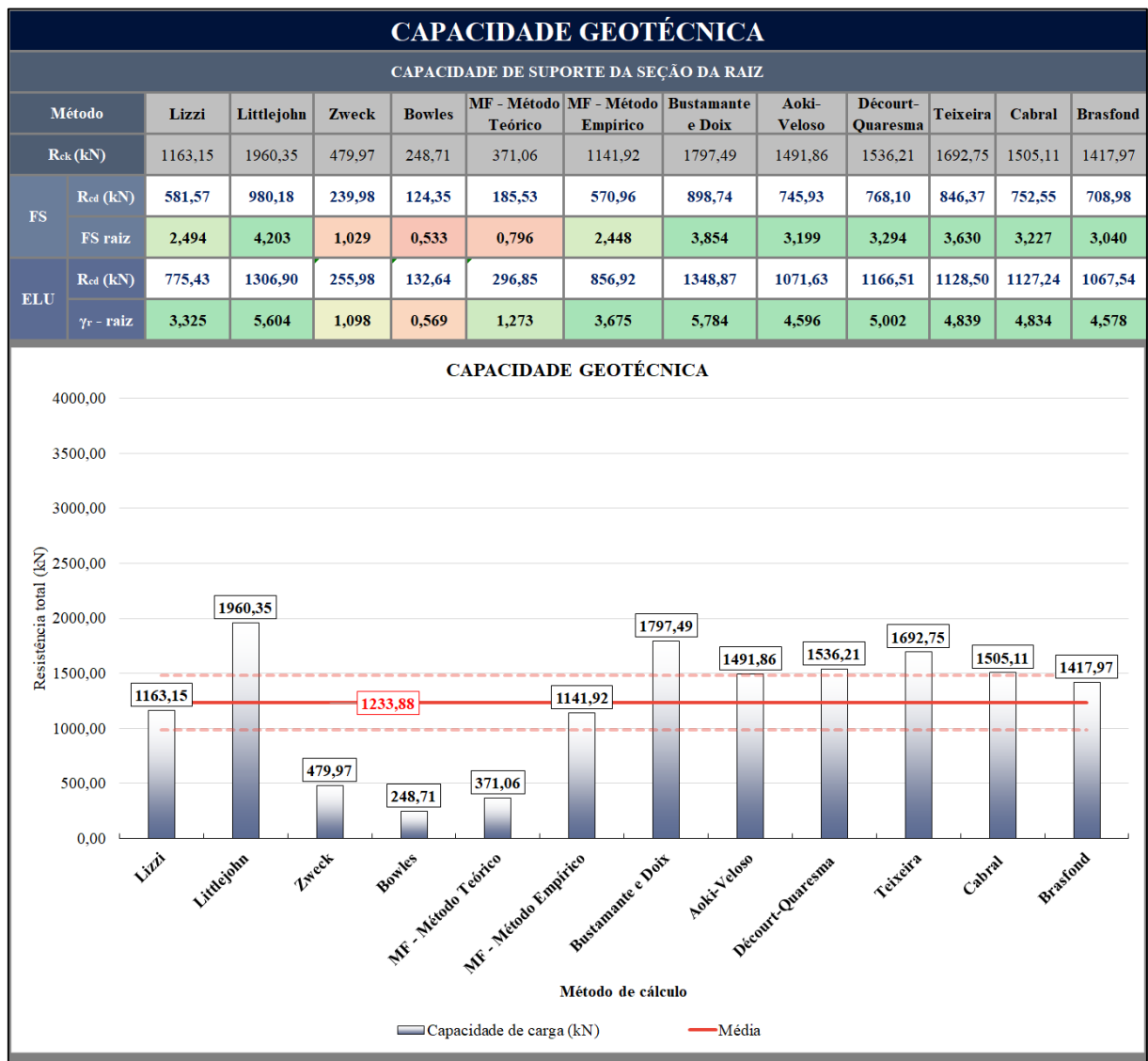


Figura 159 - Resultados - 7º Caso - Pressão da injeção = 0,6 MPa.

3.2. Defina a Injeção da calda e outros parâmetros	
TIPO	IGU
Pressão da injeção	0,70 MPa
Condição estrutural	Nova estrutura
Fator de influência (solo-estrutura) que minora o $\phi$	1

Figura 160 - Informações paramétricas - 7º Caso - Pressão da injeção = 0,7 MPa.

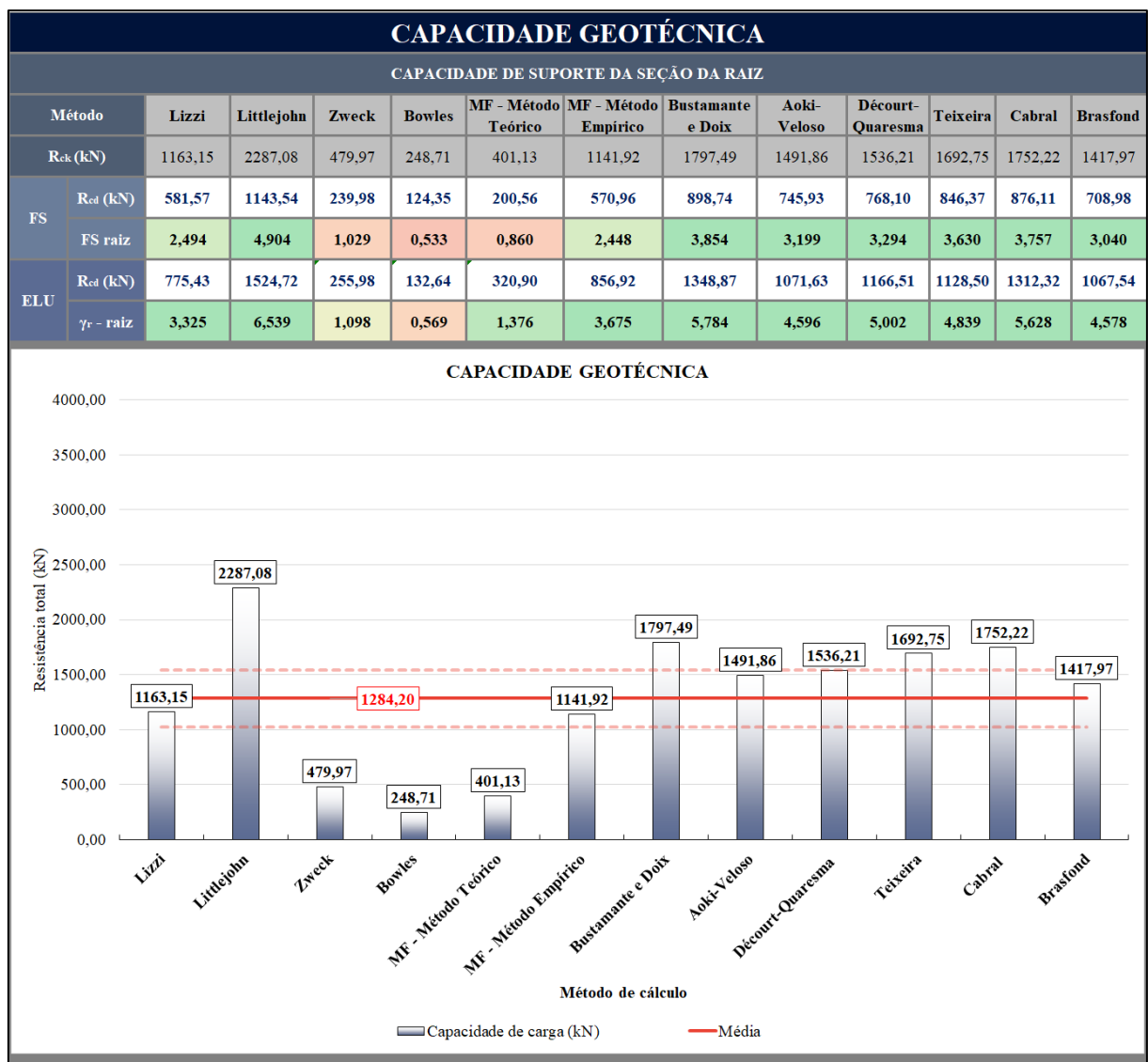


Figura 161 - Resultados - 7º Caso - Pressão da injeção = 0,7 MPa.

3.2. Defina a Injeção da calda e outros parâmetros	
TIPO	IGU
Pressão da injeção	0,80 MPa
Condição estrutural	Nova estrutura
Fator de influência (solo-estrutura) que minora o $\phi$	1

Figura 162 - Informações paramétricas - 7º Caso - Pressão da injeção = 0,8 MPa.

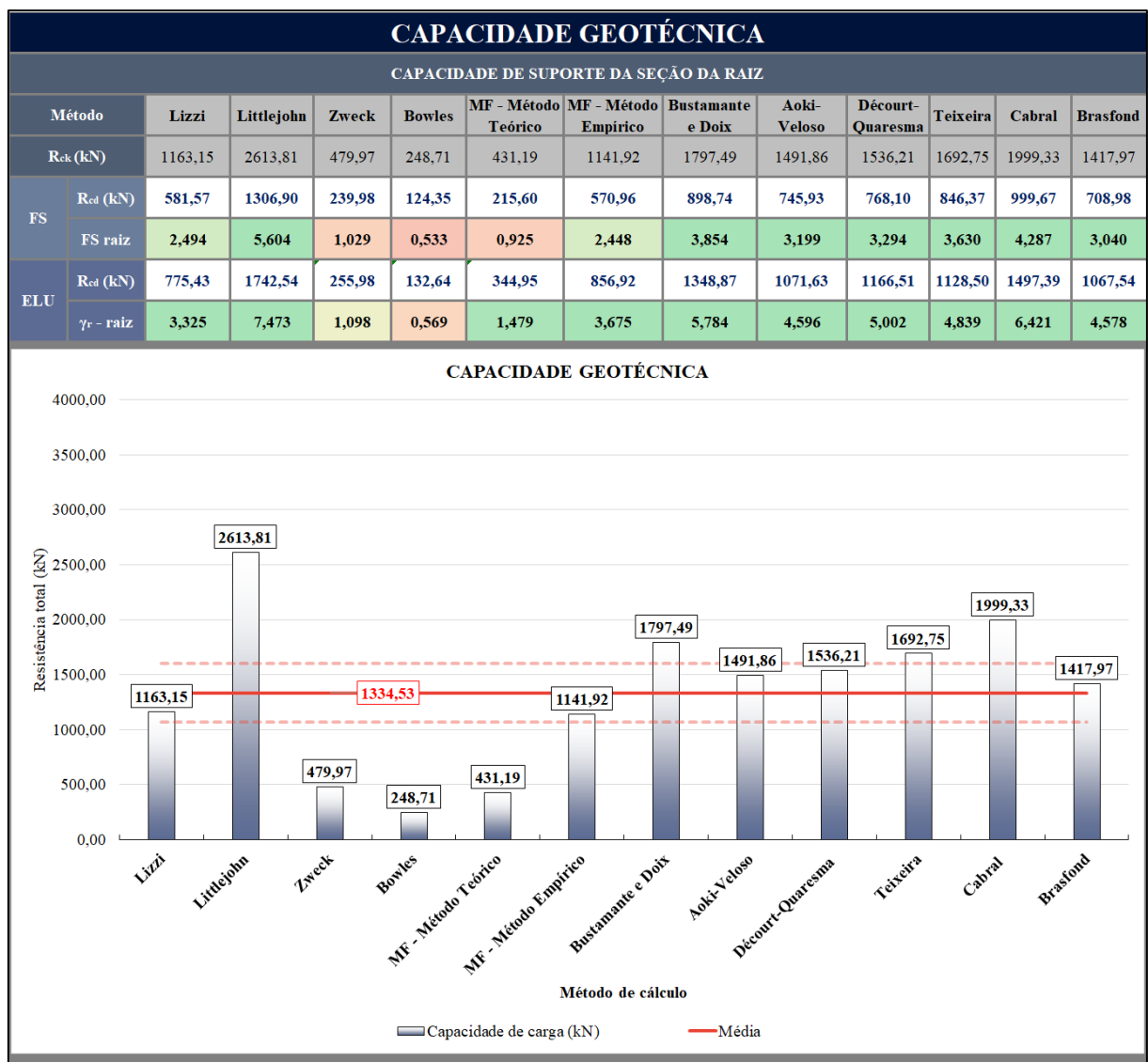


Figura 163 - Resultados - 7º Caso - Pressão da injeção = 0,8 MPa

3.2. Defina a Injeção da calda e outros parâmetros	
TIPO	IGU
Pressão da injeção	0,90 MPa
Condição estrutural	Nova estrutura
Fator de influência (solo-estrutura) que minora o $\phi$	1

Figura 164 - Informações paramétricas - 7º Caso - Pressão da injeção = 0,9 MPa.

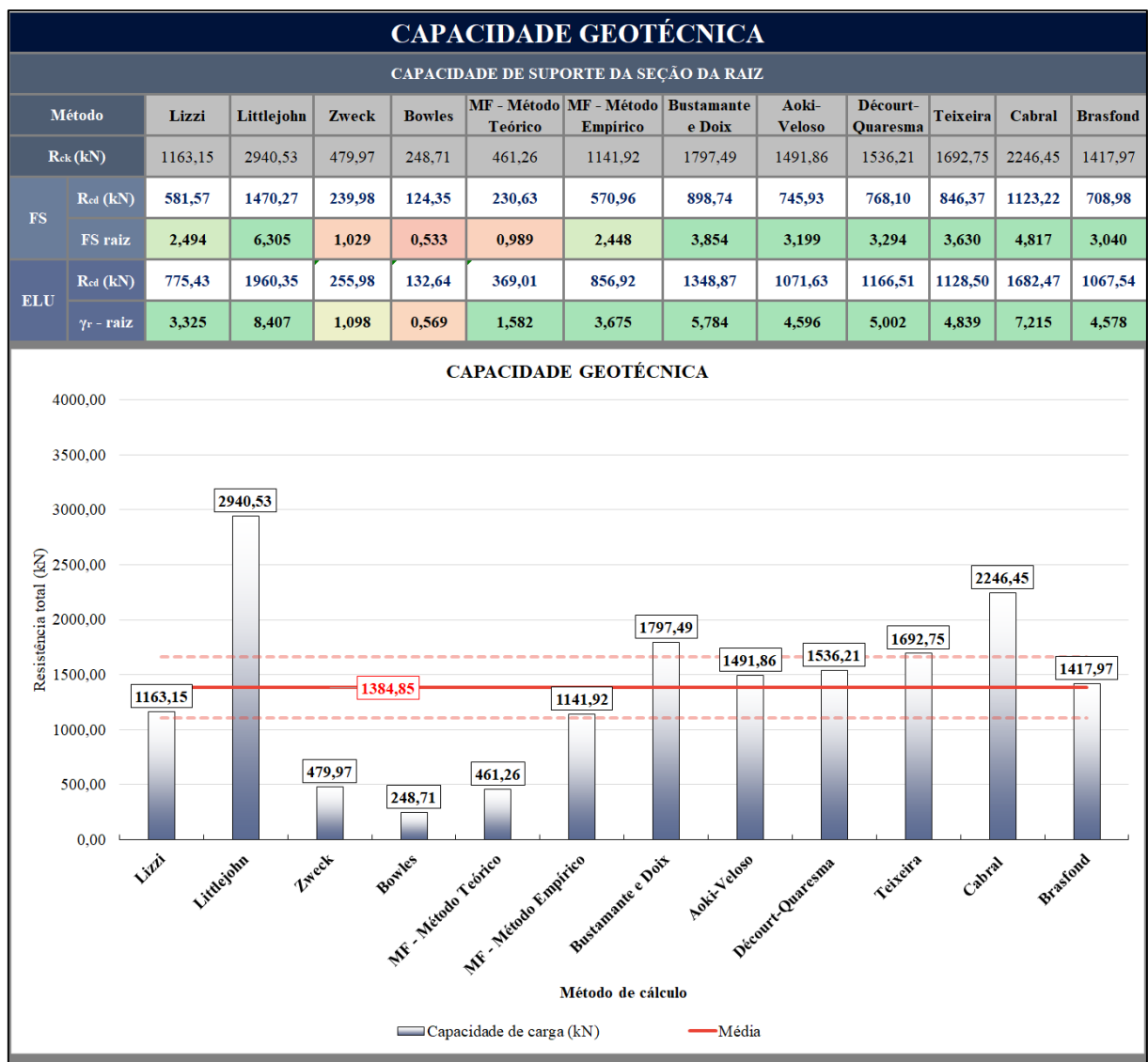


Figura 165 - Resultados - 7º Caso - Pressão da injeção = 0,9 MPa.

3.2. Defina a Injeção da calda e outros parâmetros	
TIPO	IGU
Pressão da injeção	1,00 MPa
Condição estrutural	Nova estrutura
Fator de influência (solo-estrutura) que minora o $\phi$	1

Figura 166 - Informações paramétricas - 7º Caso - Pressão da injeção = 1,0 MPa.

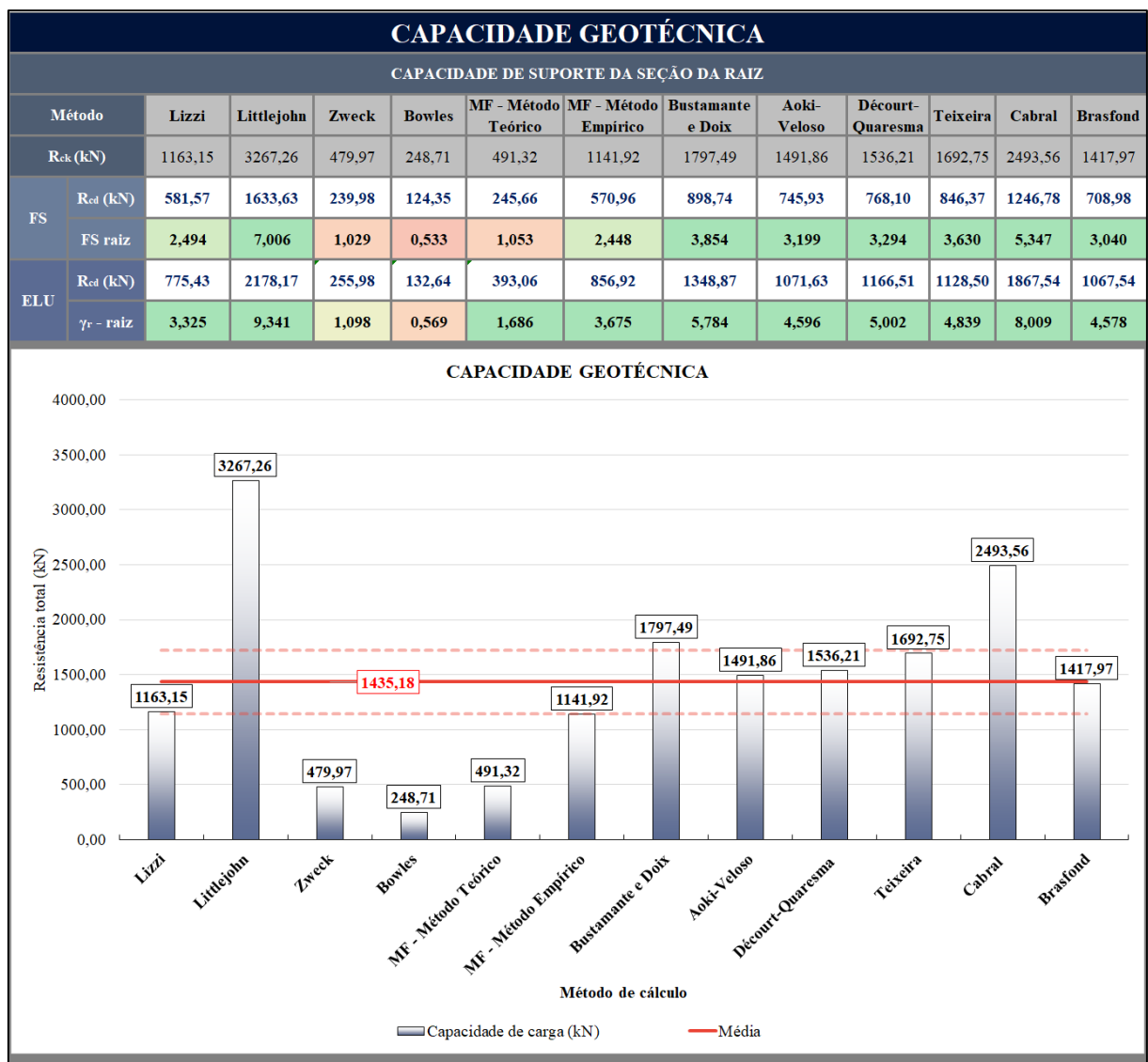


Figura 167 - Resultados - 7º Caso - Pressão da injeção = 1,0 MPa.

## APÊNDICE A.8 – RESUMO DOS MÉTODOS DE CÁLCULO

Fórmulas resumidas de todos os métodos utilizados na dissertação, para auxiliar na leitura da seção 7 – Considerações finais.

MÉTODO GEOMÉTRICO DE EULER (1936)	MÉTODO DE JIMENEZ SALAS (1980)	MÉTODO DE PIERRE SOUCHE (1984)																		
$N_{cr} = E_i \cdot I_i \cdot \frac{2\pi^2}{L_{efetivo}^2} \cdot n_{red}^2 + E_{r,red} \cdot \frac{L_{efetivo}^2}{2\pi^2} \cdot n_{red}^2$ $n_{red} = \frac{L_{cabeça}}{L_{efetivo}} + \left(1 - \frac{L_{cabeça}}{L_{efetivo}}\right) \cdot n$ $n = \frac{L_{efetivo}}{\pi} \cdot \sqrt[4]{\frac{E_R}{E_i \cdot I_i}}$ $E_{R,red} = E_R \cdot \left(1 - \frac{L_{cabeça}}{L_{efetivo}}\right)$ $E_R = k_h \cdot D_{tubular}$ $L_{efetivo} = L_{livre} + 0,5 \cdot L_{raiz}$ <p>- Este método considera a rigidez de uma seção ideal. Com a calda e aço</p> $E_i \cdot I_i = E_{betão} \cdot I_{betão} + E_{aço} \cdot I_{aço}$ $I_{aço} = \frac{D_{ext}^4 - (D_{ext} - 2 \cdot esp)^4}{64}$ $I_{betão} = \frac{(D_{ext} - 2 \cdot esp)^4}{64}$	$N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{E_{aço} \cdot I_{aço}}{(L_{livre} + L_{ef})^2} \cdot A$ $L_{ef} = 1,2 \cdot f \cdot \sqrt[4]{\frac{3 \cdot E_{aço} \cdot I_{aço}}{E_L}}$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>Restrição na cabeça</th> <th>A</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Articulada</td> <td>2,045</td> </tr> <tr> <td>Livre</td> <td>0,250</td> </tr> <tr> <td>Encastrada</td> <td>4,000</td> </tr> <tr> <td>Sem rotação e com deslocamento livre</td> <td>1,000</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th><math>E_0/E_L</math></th> <th>f</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,0</td> <td>1,70</td> </tr> <tr> <td>0,5</td> <td>1,25</td> </tr> <tr> <td>1,0</td> <td>1,00</td> </tr> </tbody> </table> <p>- Rigidez à flexão do aço <math>E_{aço} \cdot I_{aço}</math></p> $I_{aço} = \frac{D_{ext}^4 - (D_{ext} - 2 \cdot esp)^4}{64}$	Restrição na cabeça	A	Articulada	2,045	Livre	0,250	Encastrada	4,000	Sem rotação e com deslocamento livre	1,000	$E_0/E_L$	f	0,0	1,70	0,5	1,25	1,0	1,00	$N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{E_{aço} \cdot I_{aço}}{L^2} \cdot F(m, w)$ $m = \frac{L}{\pi} \cdot \sqrt[4]{\frac{E_R}{E_{aço} \cdot I_{aço}}}$ $w = \frac{L_{cabeça}}{L}$ <p>- Utiliza os âbacos de Souche para determinar F(m,w)</p> $E_R = k_h \cdot D_{tubular}$ <p>- Rigidez à flexão do aço <math>E_{aço} \cdot I_{aço}</math></p> $I_{aço} = \frac{D_{ext}^4 - (D_{ext} - 2 \cdot esp)^4}{64}$
Restrição na cabeça	A																			
Articulada	2,045																			
Livre	0,250																			
Encastrada	4,000																			
Sem rotação e com deslocamento livre	1,000																			
$E_0/E_L$	f																			
0,0	1,70																			
0,5	1,25																			
1,0	1,00																			

Figura 168 - Métodos de cálculo da carga crítica de encurvadura.

### MÉTODOS DESTINADOS PARA MICROESTACA

Fernando Lizzi (1982)

$$R_{lateral} = \pi \cdot D_{nominal} \cdot L_{total} \cdot \tau_m \cdot J$$

Bustamante e Doix (1985)

$$R_{lateral} = \sum_{i=1}^n \pi \cdot \alpha_i \cdot D_{perfuração,i} \cdot L_{raiz,i} \cdot q_{s,i}$$

$$R_{ponta} = 0,15 \cdot R_{lateral}$$

$$R_{ponta} = A_{ponta} \cdot k_p \cdot p_i$$

Ministério de Fomento (2005)

$$R_{lateral} = \sum_{i=1}^n A_{lateral,i} \cdot r_{lateral,i}$$

$$R_{ponta} \leq 0,15 \cdot R_{lateral}$$

- Método teórico considera a pressão da injeção e tensão geostática vertical;  
- Método empírico considera âbacos e coeficientes de minoração

### MÉTODOS BASEADOS NO DIMENSIONAMENTO DE ANCORAGENS

Littlejohn e Bruce (1975)

$$R_{lateral} = \pi \cdot D_{nominal} \cdot L_{total} \cdot P_i$$

Joseph Bowles (1996)

$$R_{lateral} = \pi \cdot D_{nominal} \cdot L_{raiz} \cdot K_0 \cdot \sigma'_v \cdot \tan(\phi') + \pi \cdot D_{nominal} \cdot L_{raiz} \cdot C$$

### MÉTODOS BASEADOS EM ESTACAS RAIZ E ESCAVADAS

Heinz Zweck (1953) + adaptação do Geo5

$$R_{lateral} = \pi \cdot D_{nominal} \cdot L_{raiz} \cdot \frac{1 + K_0}{2} \cdot \sigma_z \cdot \tan(\phi')$$

Aoki e Veloso (1975)

$$R = \frac{K \cdot N_p}{F_1} \cdot A_p + \frac{U}{F_2} \cdot \sum_{i=1}^n (\alpha_{AV} \cdot K \cdot N_{L_i} \cdot \Delta L_i)$$

Décourt e Quaresma (1978) - (1996)

$$R = \alpha_{DQ} \cdot C \cdot N_{P(DQ)} \cdot A_p + \sum_{i=1}^n \left( \frac{N_{L_i(DQ)}}{3} + 1 \right) \cdot 10 \cdot U \cdot \beta_{DQ} \cdot \Delta L_i$$

David Cabral (1986)

$$R = \beta_0 \cdot \beta_2 \cdot N_p \cdot A_p + \sum_{i=1}^n \beta_0 \cdot \beta_1 \cdot N_{L_i} \cdot U \cdot \Delta L_i$$

Brasfond (1991)

$$R = \alpha_B \cdot N_{P(B)} \cdot A_p + \beta_B \cdot N_{L(B)} \cdot U \cdot L$$


Alberto Teixeira (1996)

$$R = \alpha_T \cdot N_{P(T)} \cdot A_p + \beta_T \cdot N_{L(T)} \cdot U \cdot L$$

Figura 169 - Métodos de cálculo da resistência total da raiz.

# APÊNDICE B – METODOLOGIA (2ª FERRAMENTA)

## APÊNDICE B.1 – 1º CASO – COMPRIMENTO DA RAIZ




**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

**PRÉ DIMENSIONAMENTO DE MICROESTACA**

Instituto Politécnico de Bragança - IPB  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG Campus Varginha

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso




**CEFET-MG**  
Unidade Varginha


1. Definir os parâmetros do solo

VOLTAR	ALTURA (m)	Peso Específico (kN/m³)	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito (°)	Nº de pancadas - SPT	Tipo de solo (Classificação)	Tipo de solo (Compacidade)
	2,9				22	Areias e cascalhos	Muito rígido, cascalho e areias
	2,6				37	Areias e cascalhos	Muito rígido, cascalho e areias
	12,5				55	Areias e cascalhos	Muito rígido, cascalho e areias

2. Defina os materiais da microestaca (armadura tubular e calda de cimento)



Tensão de escoamento característica do aço (fyk) - (MPa)	595,00
Coefficiente de segurança do aço	1,00
Tensão de cálculo do aço (fyd) - (MPa)	595,00
Módulo de Elasticidade - (MPa)	210.000,00

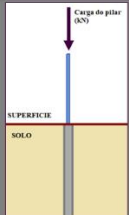


Resistência à compressão característica do betão (fck) - (MPa)	25,00
Coefficiente de segurança do betão	1,50
Resistência de cálculo do betão à compressão (fyd) - (MPa)	16,67
Módulo de Elasticidade - (MPa)	28.000,00

3. Defina a metodologia de cálculo e insira o diâmetro ou comprimento da microestaca

3.1. Condições de contorno da microestaca

Posicionamento da Microestaca	Comprimento livre acima do solo
CARGA pilar	233,19 kN
FS parcial (Estrutural)	1,00
FS parcial (Raiz)	2,00
Injeção	IGU
Rigidez da mola de Winkler	6,00 MN/m³
Tipo de seção (EC3)	Formado a frio



CALCULAR

RESULTADO

3.2. Metodologia de cálculo


CAPACIDADE ESTRUTURAL	Método Geométrico de Euler
CAPACIDADE DE CARGA DA RAIZ	Bustamante e Doix

3.3. Parâmetro de referência para o cálculo

COMPRIMENTO da raiz	13 m	<input checked="" type="checkbox"/>	SELECIONAR
DIÂMETRO de perfuração	160 mm	<input type="checkbox"/>	SELECIONAR


Diâmetro de perfuração (mm)	Diâmetro do tubo de revestimento (mm)	Diâmetro da armadura tubular (mm)
120	114,3	60,3 - 73,0
140	133	60,3 - 73,0 - 88,9
160	152,4	73,0 - 88,9 - 101,6
185	177,8	88,9 - 101,6 - 114,3 - 127,0
200	193,7	101,6 - 114,3 - 127,0 - 139,0
225	219,1	114,3 - 127,0 - 139,0 - 168,3

Figura 170 - Informações paramétricas - 1º Caso B.1 - Comprimento da raiz = 13 m.



VSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS - Varginha




CEFET-MG

PRÉ DIMENSIONAMENTO

CAPACIDADE ESTRUTURAL - Armadura Tubular		CAPACIDADE GEOTÉCNICA - Suporte da raiz	
63,30	DIÂMETRO IDEAL (mm)	DIÂMETRO de cálculo da perfuração (mm)	41,0
6,40	ESPESSURA IDEAL (mm)	DIÂMETRO IDEAL da perfuração (mm)	120,0
3,50	COMPRIMENTO LIVRE DA MICROESTACA (m)	COMPRIMENTO DA RAIZ DA MICROESTACA (m)	13,00
4,69E-07	MOMENTO DE INÉRCIA DO AÇO (m <sup>4</sup> )	Fator de Segurança Parcial da Raiz	2,00
1,14E-03	Área do aço (m <sup>2</sup> )	Método de Cálculo	Bustamante e Doix
98,46	Rigidez à flexão do aço (kNm <sup>2</sup> )	Tipo de injeção	IGU
1,00	Fator de Segurança Parcial da Estrutura		
Método Geométrico	Método de Cálculo		
EC3	Método de Verificação		

← VOLTAR

Figura 171 - Resultados - 1º Caso B.1 - Comprimento da raiz = 13 m.




**IPB**  
Instituto Politécnico de Bragança

**PRÉ DIMENSIONAMENTO DE MICROESTACA**

Instituto Politécnico de Bragança - IPB  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG Campus Varginha

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso





**CEFET-MG**  
Unidade Varginha

1. Definir os parâmetros do solo

VOLTAR	ALTURA (m)	Peso Específico (kN/m³)	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito (°)	Nº de pancadas - SPT	Tipo de solo (Classificação)	Tipo de solo (Compacidade)
1ª CAMADA	2,9				22	Areias e cascalhos	Muito rígido, cascalho e areias
2ª CAMADA	2,6				37	Areias e cascalhos	Muito rígido, cascalho e areias
3ª CAMADA	12,5				55	Areias e cascalhos	Muito rígido, cascalho e areias
4ª CAMADA							
5ª CAMADA							
6ª CAMADA							

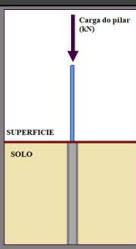
2. Defina os materiais da microestaca (armadura tubular e calda de cimento)

	Tensão de escoamento característica do aço (f <sub>yk</sub> ) - (MPa)	595,00		Resistência à compressão característica do betão (f <sub>ck</sub> ) - (MPa)	25,00
	Coefficiente de segurança do aço	1,00		Coefficiente de segurança do betão	1,50
	Tensão de cálculo do aço (f <sub>yd</sub> ) - (MPa)	595,00		Resistência de cálculo do betão à compressão (f <sub>td</sub> ) - (MPa)	16,67
	Módulo de Elasticidade - (MPa)	210.000,00		Módulo de Elasticidade - (MPa)	28.000,00

3. Defina a metodologia de cálculo e insira o diâmetro ou comprimento da microestaca

3.1. Condições de contorno da microestaca

Posicionamento da Microestaca	Comprimento livre acima do solo
CARGA pilar	233,19 kN
FS parcial (Estrutural)	1,00
FS parcial (Raiz)	2,00
Injeção	IGU
Rigidez da mola de Winkler	6,00 MN/m³
Tipo de seção (EC3)	Formado a frio



CALCULAR

RESULTADO

3.2. Metodologia de cálculo


CAPACIDADE ESTRUTURAL	Método Geométrico de Euler
CAPACIDADE DE CARGA DA RAIZ	Bustamante e Doix

3.3. Parâmetro de referência para o cálculo

COMPRIMENTO da raiz	16 m	<input checked="" type="checkbox"/>	SELECIONAR
DIÂMETRO de perfuração	160 mm	<input type="checkbox"/>	SELECIONAR

Diâmetro de perfuração (mm)	Diâmetro do tubo de revestimento (mm)	Diâmetro da armadura tubular (mm)
120	114,3	60,3 - 73,0
140	133	60,3 - 73,0 - 88,9
160	152,4	73,0 - 88,9 - 101,6
185	177,8	88,9 - 101,6 - 114,3 - 127,0
200	193,7	101,6 - 114,3 - 127,0 - 139,0
225	219,1	114,3 - 127,0 - 139,0 - 168,3


Figura 172 - Informações paramétricas - 1º Caso B.1 - Comprimento da raiz = 16 m.



**IPB**  
Instituto Politécnico de Bragança

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS - Varginha




**CEFET-MG**  
Unidade Varginha

PRÉ DIMENSIONAMENTO

CAPACIDADE ESTRUTURAL - Armadura Tubular		CAPACIDADE GEOTÉCNICA - Suporte da raiz	
70,30	DIÂMETRO IDEAL (mm)	DIÂMETRO de cálculo da perfuração (mm)	32,0
3,60	ESPESSURA IDEAL (mm)	DIÂMETRO IDEAL da perfuração (mm)	120,0
2,25	COMPRIMENTO LIVRE DA MICROESTACA (m)	COMPRIMENTO DA RAIZ DA MICROESTACA (m)	16,00
4,21E-07	MOMENTO DE INÉRCIA DO AÇO (m <sup>4</sup> )	Fator de Segurança Parcial da Raiz	2,00
7,54E-04	Área do aço (m <sup>2</sup> )	Método de Cálculo	Bustamante e Doix
88,35	Rigidez à flexão do aço (kNm <sup>2</sup> )	Tipo de injeção	IGU
1,00	Fator de Segurança Parcial da Estrutura		
Método Geométrico	Método de Cálculo		
EC3	Método de Verificação		

← VOLTAR

Figura 173 - Resultados - 1º Caso B.1 - Comprimento da raiz = 16 m.




**IPB**  
Instituto Politécnico de Bragança

**PRÉ DIMENSIONAMENTO DE MICROESTACA**

Instituto Politécnico de Bragança - IPB  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG Campus Varginha

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso



**CEFET-MG**  
Unidade Varginha


---

**1. Definir os parâmetros do solo**


VOLTAR	ALTURA (m)	Peso Específico (kN/m³)	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito (°)	Nº de pancadas - SPT	Tipo de solo (Classificação)	Tipo de solo (Compacidade)
1ª CAMADA	2,9				22	Areias e cascalhos	Muito rígido, cascalho e areias
2ª CAMADA	2,6				37	Areias e cascalhos	Muito rígido, cascalho e areias
3ª CAMADA	12,5				55	Areias e cascalhos	Muito rígido, cascalho e areias
4ª CAMADA							
5ª CAMADA							
6ª CAMADA							

---

**2. Defina os materiais da microestaca (armadura tubular e calda de cimento)**



Tensão de escoamento característica do aço (fyk) - (MPa)	595,00
Coefficiente de segurança do aço	1,00
Tensão de cálculo do aço (fyd) - (MPa)	595,00
Módulo de Elasticidade - (MPa)	210.000,00



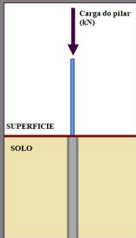
Resistência à compressão característica do betão (fck) - (MPa)	25,00
Coefficiente de segurança do betão	1,50
Resistência de cálculo do betão à compressão (fyd) - (MPa)	16,67
Módulo de Elasticidade - (MPa)	28.000,00

---

**3. Defina a metodologia de cálculo e insira o diâmetro ou comprimento da microestaca**

**3.1. Condições de contorno da microestaca**

Posicionamento da Microestaca	Comprimento livre acima do solo
CARGA pilar	233,19 kN
FS parcial (Estrutural)	1,00
FS parcial (Raiz)	2,00
Injeção	IGU
Rigidez da mola de Winkler	6,00 MN/m³
Tipo de seção (EC3)	Formado a frio



Carga do pilar (kN)  
SUPERFICIE  
SOLO

CALCULAR

RESULTADO

**3.2. Metodologia de cálculo**


CAPACIDADE ESTRUTURAL	Método Geométrico de Euler
CAPACIDADE DE CARGA DA RAIZ	Bustamante e Doix

**3.3. Parâmetro de referência para o cálculo**

COMPRIMENTO da raiz	19 m	<input checked="" type="checkbox"/>	SELECIONAR
DIÂMETRO de perfuração	160 mm	<input type="checkbox"/>	SELECIONAR

Diâmetro de perfuração (mm)	Diâmetro do tubo de revestimento (mm)	Diâmetro da armadura tubular (mm)
120	114,3	60,3 - 73,0
140	133	60,3 - 73,0 - 88,9
160	152,4	73,0 - 88,9 - 101,6
185	177,8	88,9 - 101,6 - 114,3 - 127,0
200	193,7	101,6 - 114,3 - 127,0 - 139,0
225	219,1	114,3 - 127,0 - 139,0 - 168,3


Figura 174 - Informações paramétricas - 1º Caso B.1 - Comprimento da raiz = 19 m.



**IPB**  
Instituto Politécnico de Bragança

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS - Varginha



**CEFET-MG**  
Unidade Varginha

---


**PRÉ DIMENSIONAMENTO**

CAPACIDADE ESTRUTURAL - Armadura Tubular		CAPACIDADE GEOTÉCNICA - Suporte da raiz	
67,30	DIÂMETRO IDEAL (mm)	DIÂMETRO de cálculo da perfuração (mm)	28,0
4,00	ESPESSURA IDEAL (mm)	DIÂMETRO IDEAL da perfuração (mm)	120,0
2,25	COMPRIMENTO LIVRE DA MICROESTACA (m)	COMPRIMENTO DA RAIZ DA MICROESTACA (m)	19,00
4,00E-07	MOMENTO DE INÉRCIA DO AÇO (m <sup>4</sup> )	Fator de Segurança Parcial da Raiz	2,00
7,95E-04	Área do aço (m <sup>2</sup> )	Método de Cálculo	Bustamante e Doix
84,00	Rigidez à flexão do aço (kNm <sup>2</sup> )	Tipo de injeção	IGU
1,00	Fator de Segurança Parcial da Estrutura		
Método Geométrico	Método de Cálculo		
EC3	Método de Verificação		

← VOLTAR

Figura 175 - Resultados - 1º Caso B.1 - Comprimento da raiz = 19 m.


## APÊNDICE B.2 – 2º CASO – DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO



**PRÉ DIMENSIONAMENTO DE MICROESTACA**

Instituto Politécnico de Bragança - IPB  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG Campus Varginha


Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso




1. Definir os parâmetros do solo

VOLTAR	ALTURA (m)	Peso Específico (kN/m³)	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito (°)	Nº de pancadas - SPT	Tipo de solo (Classificação)	Tipo de solo (Compacidade)
	2,9				22	Areias e cascalhos	Muito rígido, cascalho e areias
	2,6				37	Areias e cascalhos	Muito rígido, cascalho e areias
	12,5				55	Areias e cascalhos	Muito rígido, cascalho e areias

2. Defina os materiais da microestaca (armadura tubular e cabla de cimento)



Tensão de escoamento característica do aço (f <sub>yk</sub> ) - (MPa)	595,00
Coefficiente de segurança do aço	1,00
Tensão de cálculo do aço (f <sub>yd</sub> ) - (MPa)	595,00
Módulo de Elasticidade - (MPa)	210.000,00

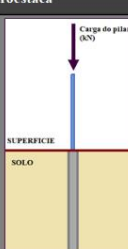


Resistência à compressão característica do betão (f <sub>ck</sub> ) - (MPa)	25,00
Coefficiente de segurança do betão	1,50
Resistência de cálculo do betão à compressão (f <sub>td</sub> ) - (MPa)	16,67
Módulo de Elasticidade - (MPa)	28.000,00

3. Defina a metodologia de cálculo e insira o diâmetro ou comprimento da microestaca

3.1. Condições de contorno da microestaca

Posicionamento da Microestaca	Comprimento livre acima do solo
CARGA pilar	233,19 kN
FS parcial (Estrutural)	1,00
FS parcial (Raiz)	2,00
Injeção	IGU
Rigidez da mola de Winkler	6,00 MN/m³
Tipo de seção (EC3)	Formado a frio



3.2. Metodologia de cálculo

CAPACIDADE ESTRUTURAL	Método Geométrico de Euler
CAPACIDADE DE CARGA DA RAIZ	Bustamante e Doix

3.3. Parâmetro de referência para o cálculo


COMPRIMENTO da raiz	m	<input type="checkbox"/>	SELECIONAR
DIÂMETRO de perfuração	120 mm	<input checked="" type="checkbox"/>	SELECIONAR

Diâmetro de perfuração (mm)	Diâmetro do tubo de revestimento (mm)	Diâmetro da armadura tubular (mm)
120	114,3	60,3 - 73,0
140	133	60,3 - 73,0 - 88,9
160	152,4	73,0 - 88,9 - 101,6
185	177,8	88,9 - 101,6 - 114,3 - 127,0
200	193,7	101,6 - 114,3 - 127,0 - 139,0
225	219,1	114,3 - 127,0 - 139,0 - 168,3

CALCULAR


RESULTADO

Figura 176 - Informações paramétricas - 2º Caso B.2 - Diâmetro de perfuração = 120 mm.



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS - Varginha




PRÉ DIMENSIONAMENTO

CAPACIDADE ESTRUTURAL - Armadura Tubular		CAPACIDADE GEOTÉCNICA - Suporte da raiz	
64,30	DIÂMETRO IDEAL (mm)	DIÂMETRO de cálculo da perfuração (mm)	Sem valor
6,50	ESPESSURA IDEAL (mm)	DIÂMETRO IDEAL da perfuração (mm)	120,0
2,50	COMPRIMENTO LIVRE DA MICROESTACA (m)	COMPRIMENTO DA RAIZ DA MICROESTACA (m)	6,14
4,99E-07	MOMENTO DE INÉRCIA DO AÇO (m <sup>4</sup> )	Fator de Segurança Parcial da Raiz	2,00
1,18E-03	Área do aço (m <sup>2</sup> )	Método de Cálculo	Bustamante e Doix
104,82	Rigidez à flexão do aço (kNm <sup>2</sup> )	Tipo de injeção	IGU
1,00	Fator de Segurança Parcial da Estrutura		
Método Geométrico	Método de Cálculo		
EC3	Método de Verificação		

← VOLTAR

Figura 177 - Resultados - 2º Caso B.2 - Diâmetro de perfuração = 120 mm




**IPB**  
Instituto Politécnico de Bragança

**PRÉ DIMENSIONAMENTO DE MICROESTACA**

Instituto Politécnico de Bragança - IPB  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG Campus Varginha

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso



**CEFET-MG**  
Unidade Varginha


---

**1. Definir os parâmetros do solo**


VOLTAR	ALTURA (m)	Peso Específico (kN/m³)	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito (°)	Nº de pancadas - SPT	Tipo de solo (Classificação)	Tipo de solo (Compacidade)
	2,9				22	Areias e cascalhos	Muito rígido, cascalho e areias
	2,6				37	Areias e cascalhos	Muito rígido, cascalho e areias
	12,5				55	Areias e cascalhos	Muito rígido, cascalho e areias

---

**2. Defina os materiais da microestaca (armadura tubular e calda de cimento)**



Tensão de escoamento característica do aço (f <sub>yk</sub> ) - (MPa)	595,00
Coefficiente de segurança do aço	1,00
Tensão de cálculo do aço (f <sub>yd</sub> ) - (MPa)	595,00
Módulo de Elasticidade - (MPa)	210.000,00



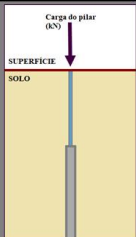
Resistência à compressão característica do betão (f <sub>ck</sub> ) - (MPa)	25,00
Coefficiente de segurança do betão	1,50
Resistência de cálculo do betão à compressão (f <sub>td</sub> ) - (MPa)	16,67
Módulo de Elasticidade - (MPa)	28.000,00

---

**3. Defina a metodologia de cálculo e insira o diâmetro ou comprimento da microestaca**

**3.1. Condições de contorno da microestaca**

Posicionamento da Microestaca	Afogada
CARGA pilar	233,19 kN
FS parcial (Estrutural)	1,00
FS parcial (Raiz)	2,00
Injeção	IGU
Rigidez da mola de Winkler	6,00 MN/m³
Tipo de seção (EC3)	Formado a frio



**3.2. Metodologia de cálculo**

CAPACIDADE ESTRUTURAL	Método Geométrico de Euler
CAPACIDADE DE CARGA DA RAIZ	Bustamante e Doix

**3.3. Parâmetro de referência para o cálculo**


COMPIMENTO da raiz	m	<input type="checkbox"/>	SELECIONAR
DIÂMETRO de perfuração	160	<input checked="" type="checkbox"/>	SELECIONAR

Diâmetro de perfuração (mm)	Diâmetro do tubo de revestimento (mm)	Diâmetro da armadura tubular (mm)
120	114,3	60,3 - 73,0
140	133	60,3 - 73,0 - 88,9
160	152,4	73,0 - 88,9 - 101,6
185	177,8	88,9 - 101,6 - 114,3 - 127,0
200	193,7	101,6 - 114,3 - 127,0 - 139,0
225	219,1	114,3 - 127,0 - 139,0 - 168,3

CALCULAR


RESULTADO

Figura 178 - Informações paramétricas - 2º Caso B.2 - Diâmetro de perfuração = 160 mm.



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS - Varginha



CEFET-MG


---

**PRÉ DIMENSIONAMENTO**

CAPACIDADE ESTRUTURAL - Armadura Tubular		CAPACIDADE GEOTÉCNICA - Suporte da raiz	
73,00	DIÂMETRO IDEAL (mm)	DIÂMETRO de cálculo da perfuração (mm)	Sem valor
4,10	ESPESSURA IDEAL (mm)	DIÂMETRO IDEAL da perfuração (mm)	160,0
2,50	COMPIMENTO LIVRE DA MICROESTACA (m)	COMPIMENTO DA RAIZ DA MICROESTACA (m)	5,13
5,28E-07	MOMENTO DE INÉRCIA DO AÇO (m <sup>4</sup> )	Fator de Segurança Parcial da Raiz	2,00
8,87E-04	Área do aço (m <sup>2</sup> )	Método de Cálculo	Bustamante e Doix
110,98	Rigidez à flexão do aço (kNm <sup>2</sup> )	Tipo de injeção	IGU
1,00	Fator de Segurança Parcial da Estrutura		
Método Geométrico	Método de Cálculo		
EC3	Método de Verificação		

← VOLTAR

Figura 179 - Resultados - 2º Caso B.2 - Diâmetro de perfuração = 160 mm




**ipb**  
Instituto Politécnico de Bragança

**PRÉ DIMENSIONAMENTO DE MICROESTACA**

Instituto Politécnico de Bragança - IPB  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG Campus Varginha

Ferramenta Auxiliar de Cálculo Para a Situação do Estudo de Caso




**CEFET-MG**  
Unidade Varginha


1. Definir os parâmetros do solo

VOLTAR	ALTURA (m)	Peso Específico (kN/m³)	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito (°)	Nº de pancadas - SPT	Tipo de solo (Classificação)	Tipo de solo (Compacidade)
1ª CAMADA	2,9				22	Areias e cascalhos	Muito rígido, cascalho e areias
2ª CAMADA	2,6				37	Areias e cascalhos	Muito rígido, cascalho e areias
3ª CAMADA	12,5				55	Areias e cascalhos	Muito rígido, cascalho e areias
4ª CAMADA							
5ª CAMADA							
6ª CAMADA							

2. Defina os materiais da microestaca (armadura tubular e calda de cimento)



Tensão de escoamento característica do aço (f <sub>yk</sub> ) - (MPa)	595,00
Coefficiente de segurança do aço	1,00
Tensão de cálculo do aço (f <sub>yd</sub> ) - (MPa)	595,00
Módulo de Elasticidade - (MPa)	210.000,00

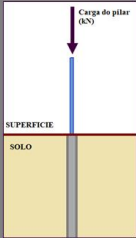


Resistência à compressão característica do betão (f <sub>ck</sub> ) - (MPa)	25,00
Coefficiente de segurança do betão	1,50
Resistência de cálculo do betão à compressão (f <sub>td</sub> ) - (MPa)	16,67
Módulo de Elasticidade - (MPa)	28.000,00

3. Defina a metodologia de cálculo e insira o diâmetro ou comprimento da microestaca

3.1. Condições de contorno da microestaca

Posicionamento da Microestaca	Comprimento livre acima do solo
CARGA pilar	233,19 kN
FS parcial (Estrutural)	1,00
FS parcial (Raiz)	2,00
Injeção	IGU
Rigidez da mola de Winkler	6,00 MN/m³
Tipo de seção (EC3)	Formado a frio



**CALCULAR**

**RESULTADO**

3.2. Metodologia de cálculo

CAPACIDADE ESTRUTURAL	Método Geométrico de Euler
CAPACIDADE DE CARGA DA RAIZ	Bustamante e Doix

3.3. Parâmetro de referência para o cálculo

COMPRIMENTO da raiz	m	<input type="checkbox"/>	SELECIONAR
DIÂMETRO de perfuração	200 mm	<input checked="" type="checkbox"/>	SELECIONAR

Diâmetro de perfuração (mm)	Diâmetro do tubo de revestimento (mm)	Diâmetro da armadura tubular (mm)
120	114,3	60,3 - 73,0
140	133	60,3 - 73,0 - 88,9
160	152,4	73,0 - 88,9 - 101,6
185	177,8	88,9 - 101,6 - 114,3 - 127,0
200	193,7	101,6 - 114,3 - 127,0 - 139,0
225	219,1	114,3 - 127,0 - 139,0 - 168,3

Figura 180 - Informações paramétricas - 2º Caso B.2 - Diâmetro de perfuração = 200 mm.



**IPB**  
Instituto Politécnico de Bragança

VSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS - Varginha



**CEFET-MG**  
Unidade Varginha

PRÉ DIMENSIONAMENTO

CAPACIDADE ESTRUTURAL - Armadura Tubular		CAPACIDADE GEOTÉCNICA - Suporte da raiz	
101,6	DIÂMETRO IDEAL (mm)	DIÂMETRO de cálculo da perfuração (mm)	Sem valor
3	ESPESSURA IDEAL (mm)	DIÂMETRO IDEAL da perfuração (mm)	200,0
6,00	COMPRIMENTO LIVRE DA MICROESTACA (m)	COMPRIMENTO DA RAIZ DA MICROESTACA (m)	4,34
1,13E-06	MOMENTO DE INÉRCIA DO AÇO (m <sup>4</sup> )	Fator de Segurança Parcial da Raiz	2,00
4,72E-04	Área do aço (m <sup>2</sup> )	Método de Cálculo	Bustamante e Doix
237,37	Rigidez à flexão do aço (kNm <sup>2</sup> )	Tipo de injeção	IGU
1,00	Fator de Segurança Parcial da Estrutura		
Método Geométrico	Método de Cálculo		
EC3	Método de Verificação		



Figura 181 - Resultados - 2º Caso B.2 - Diâmetro de perfuração = 200 mm.

## ANEXO I – ÁBACOS DE BUSTAMANTE E DOIX

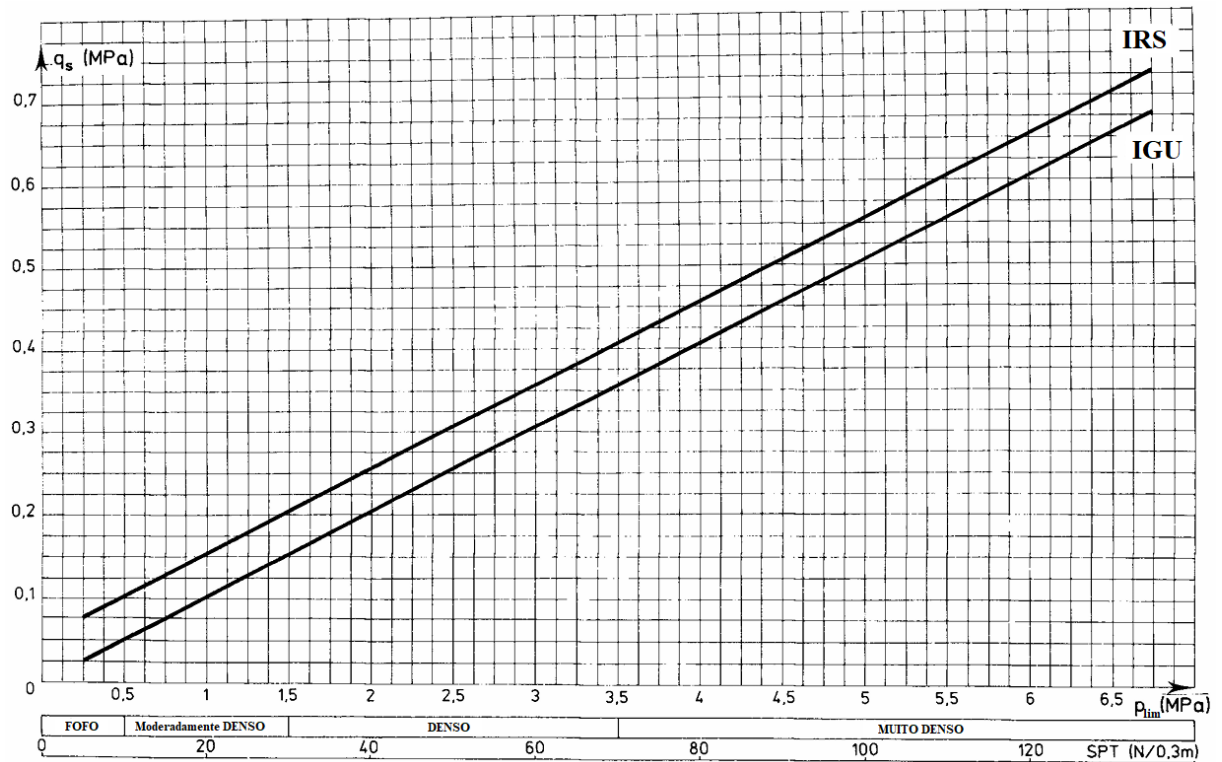


Figura 182 - Ábaco de Bustamante e Doix para areias e cascalhos (Adaptado de Bustamante e Doix, 1985).

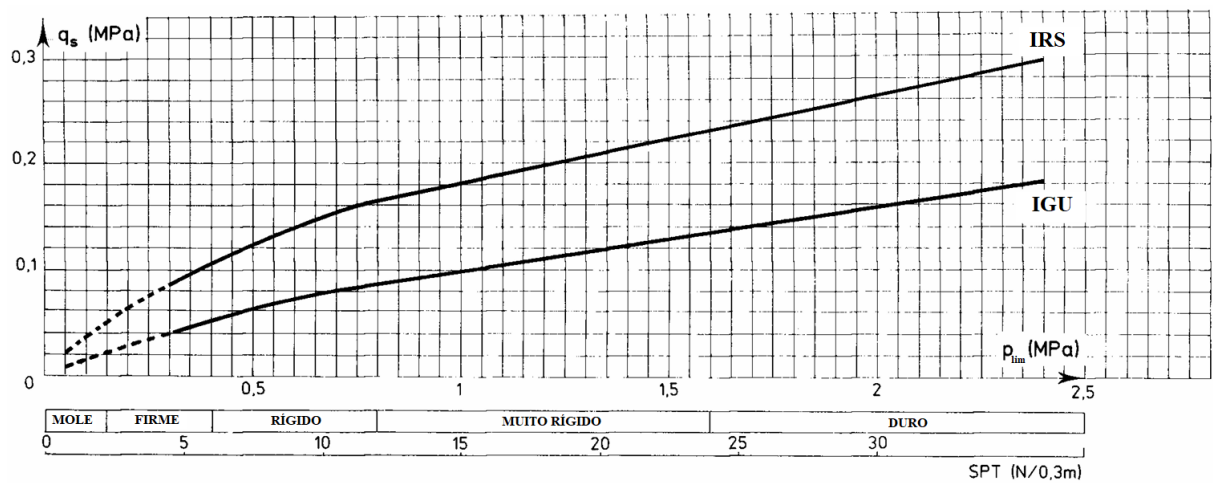


Figura 183 - Ábaco de Bustamante e Doix para argilas e limos (Adaptado de Bustamante e Doix, 1985).

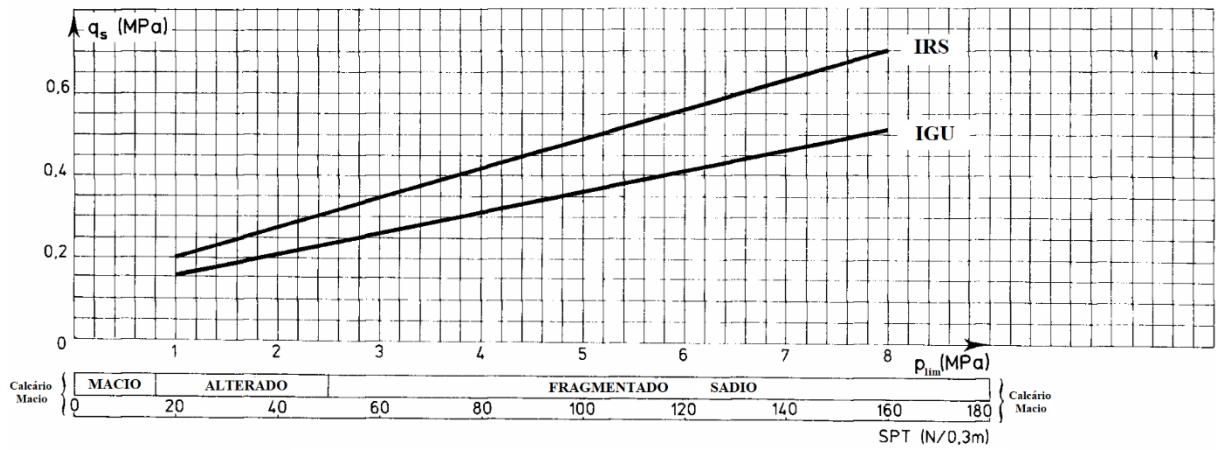


Figura 184 - Ábaco de Bustamante e Doix para rochas calcárias (Adaptado de Bustamante e Doix, 1985).

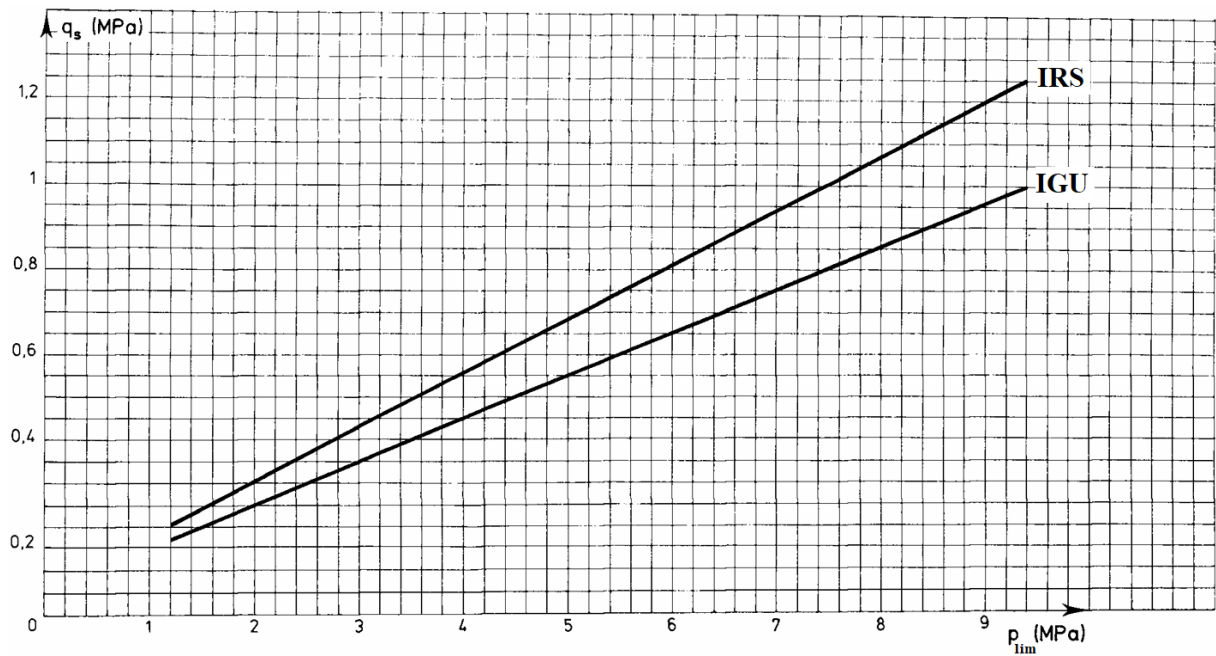


Figura 185 - Ábaco de Bustamante e Doix para rochas alteradas/fragmentadas (Adaptado de Bustamante e Doix, 1985).

## ANEXO II – TABELAS DO EUROCÓDIGO 3

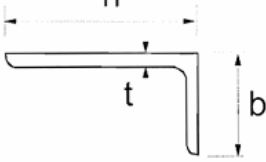
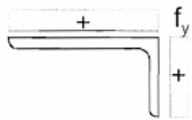
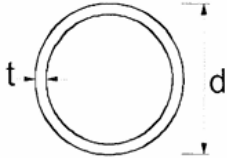
<p><b>Angles</b></p>  <p>Refer also to "Outstand flanges" (see sheet 2 of 3)</p> <p>Does not apply to angles in continuous contact with other components</p>						
Class	Section in compression					
Stress distribution across section (compression positive)						
3	$\boxed{AC2} \quad h/t \leq 15\varepsilon \text{ and } \frac{b+h}{2t} \leq 11,5\varepsilon \quad \boxed{AC2}$					
<p><b>Tubular sections</b></p> 						
Class	Section in bending and/or compression					
1	$d/t \leq 50\varepsilon^2$					
2	$d/t \leq 70\varepsilon^2$					
3	$d/t \leq 90\varepsilon^2$ <b>NOTE</b> For $d/t > 90\varepsilon^2$ see EN 1993-1-6.					
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$	235	275	355	420	460
	$\varepsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	$\varepsilon^2$	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

Figura 186 - Proporções máximas de largura e espessura para peças de compressão (NP EN 1993-1-1, 2005).

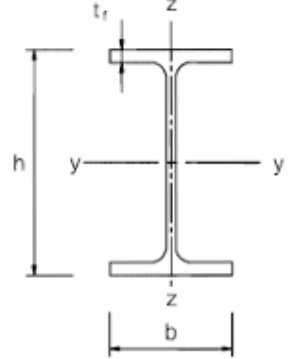
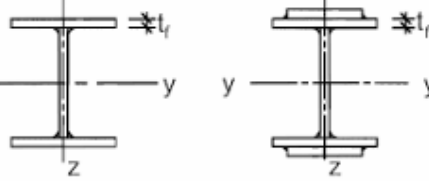

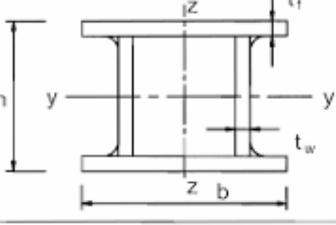
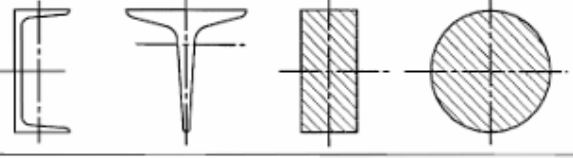
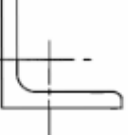
Cross section	Limits	Buckling about axis	Buckling curve		
			S 235 S 275 S 355 S 420	S 460	
Rolled sections 	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$ $40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y - y z - z	a a <sub>0</sub>	
			b c	a a	
	$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$ $t_f > 100 \text{ mm}$	y - y z - z	b c	a a
			y - y z - z	d d	c c
Welded I-sections 	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y - y z - z	b c	b c	
	$t_f > 40 \text{ mm}$	y - y z - z	c d	c d	
Hollow sections 	hot finished	any	a	a <sub>0</sub>	
	cold formed	any	c	c	
Welded box sections 	generally (except as below)	any	b	b	
	thick welds: $a > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	any	c	c	
U-, T- and solid sections 		any	c	c	
L-sections 		any	b	b	

Figura 187 - Seleção da curva de encurvadura para seção transversal (NP EN 1993-1-1, 2005).

## ANEXO III – ÁBACOS DE PIERRE SOUCHE

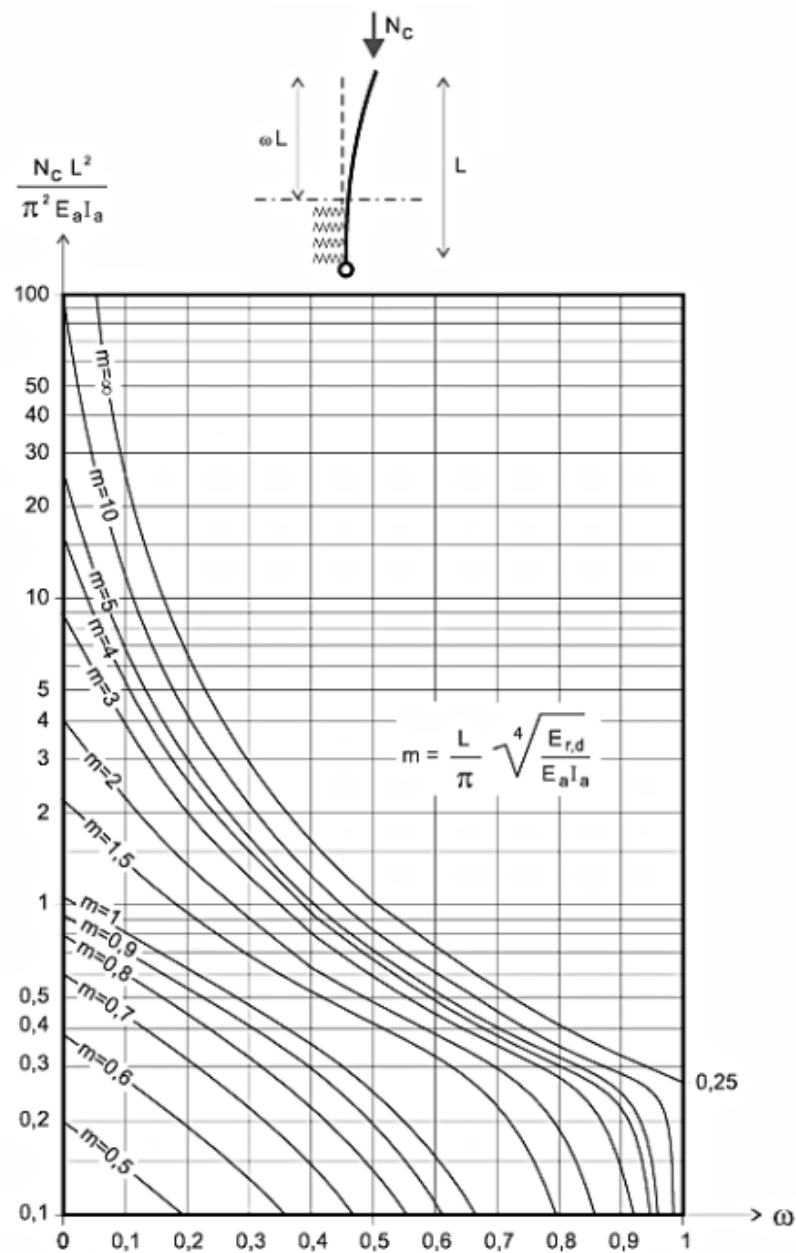


Figura 188 - Ábaco de Souche, base articulada – cabeça livre (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005).

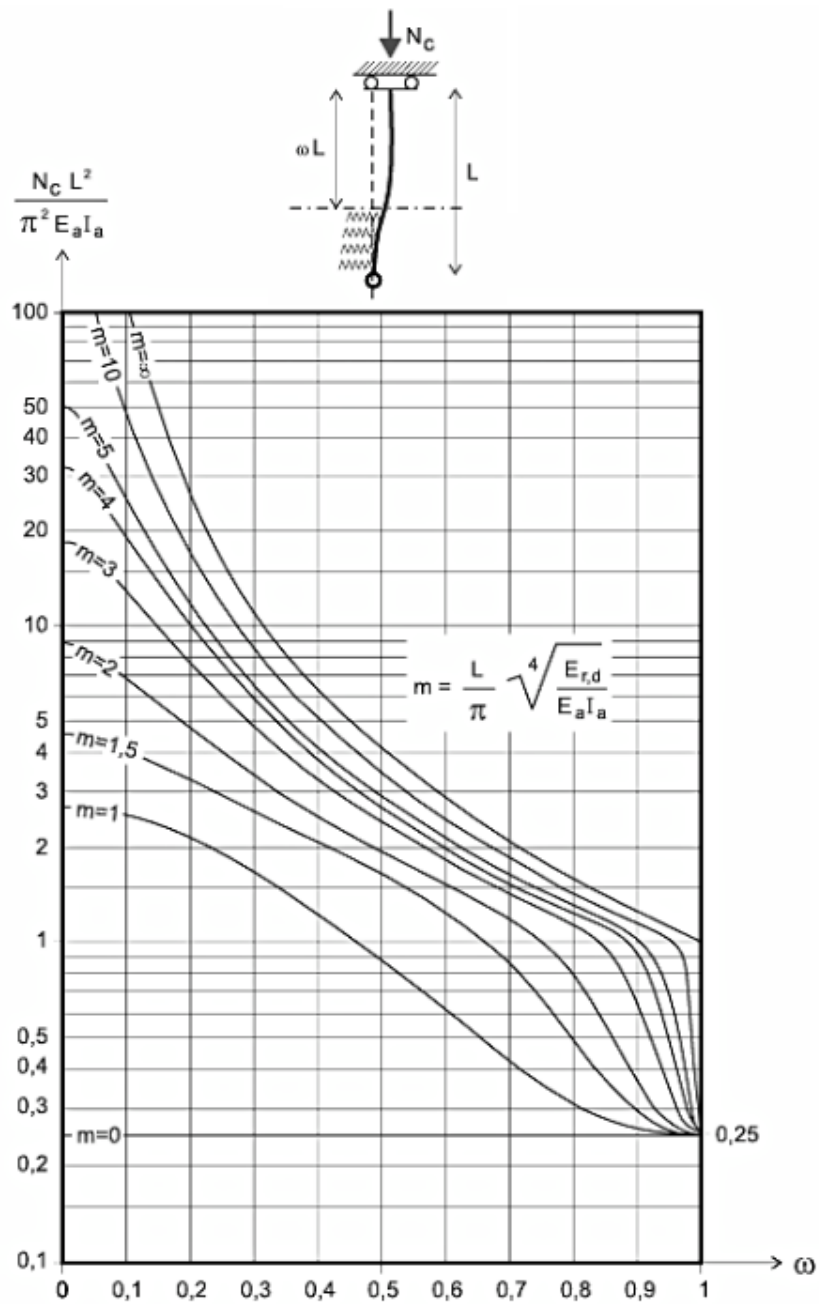


Figura 189 - Ábaco de Souche, base articulada - cabeça com deslocamento horizontal sem giro (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005).

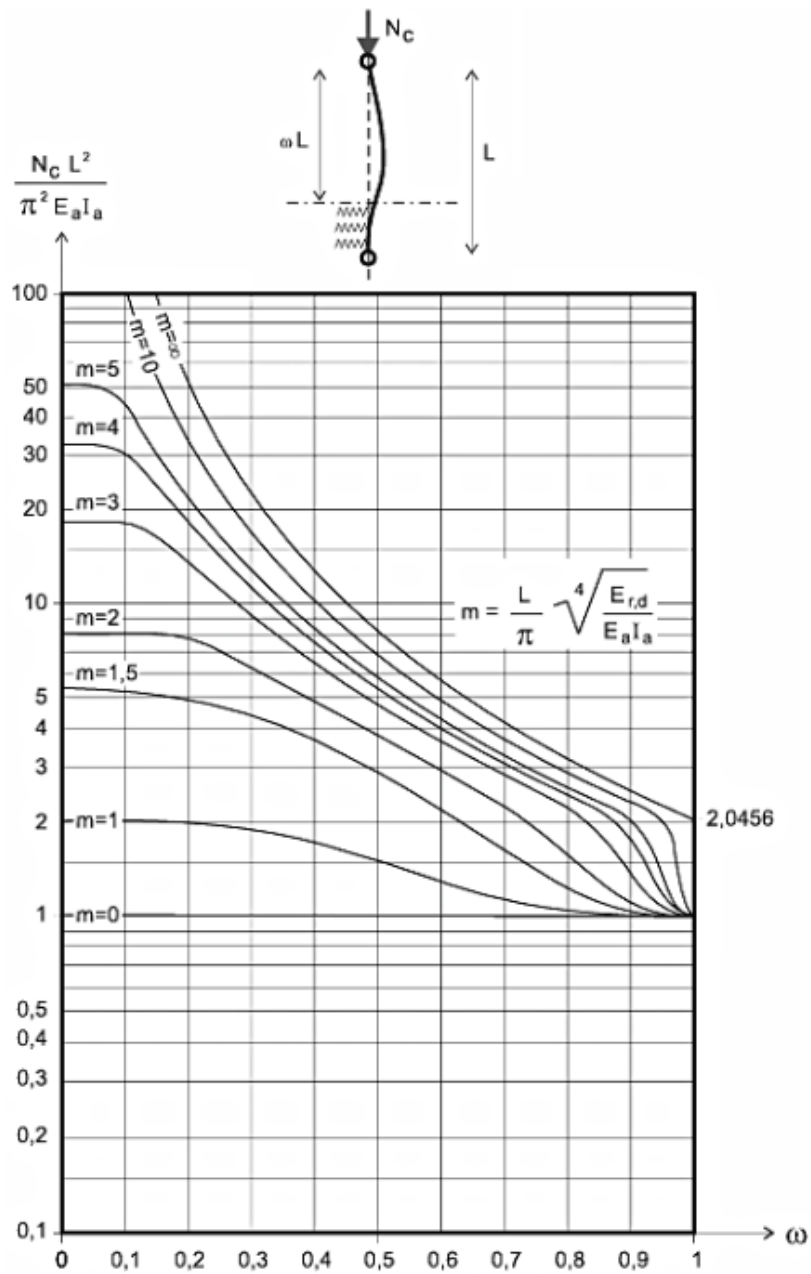


Figura 190 - Ábaco de Souche, base articulada - cabeça articulada (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005).

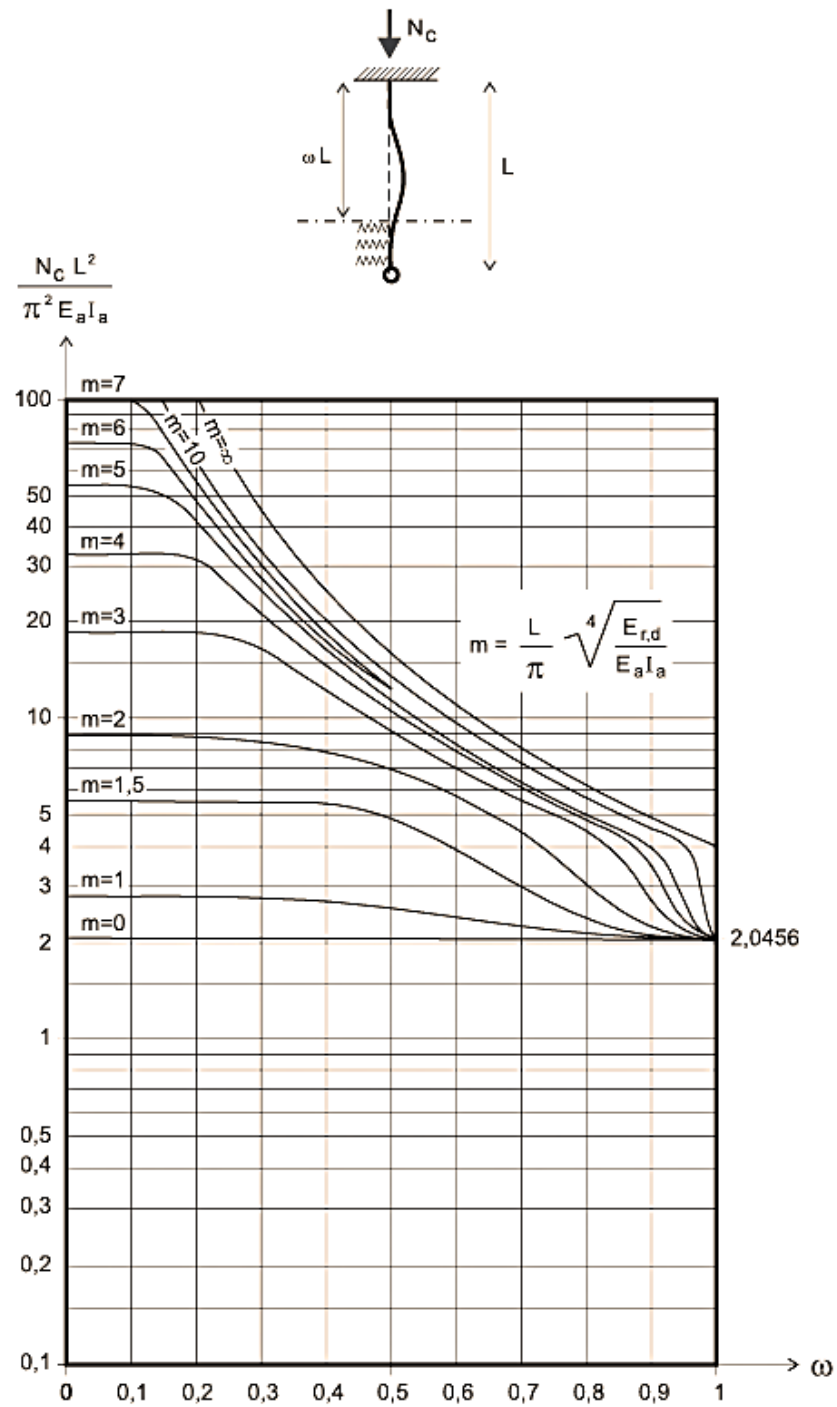


Figura 191 - Ábaco de Souche, base articulada - cabeça encastrada (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005).

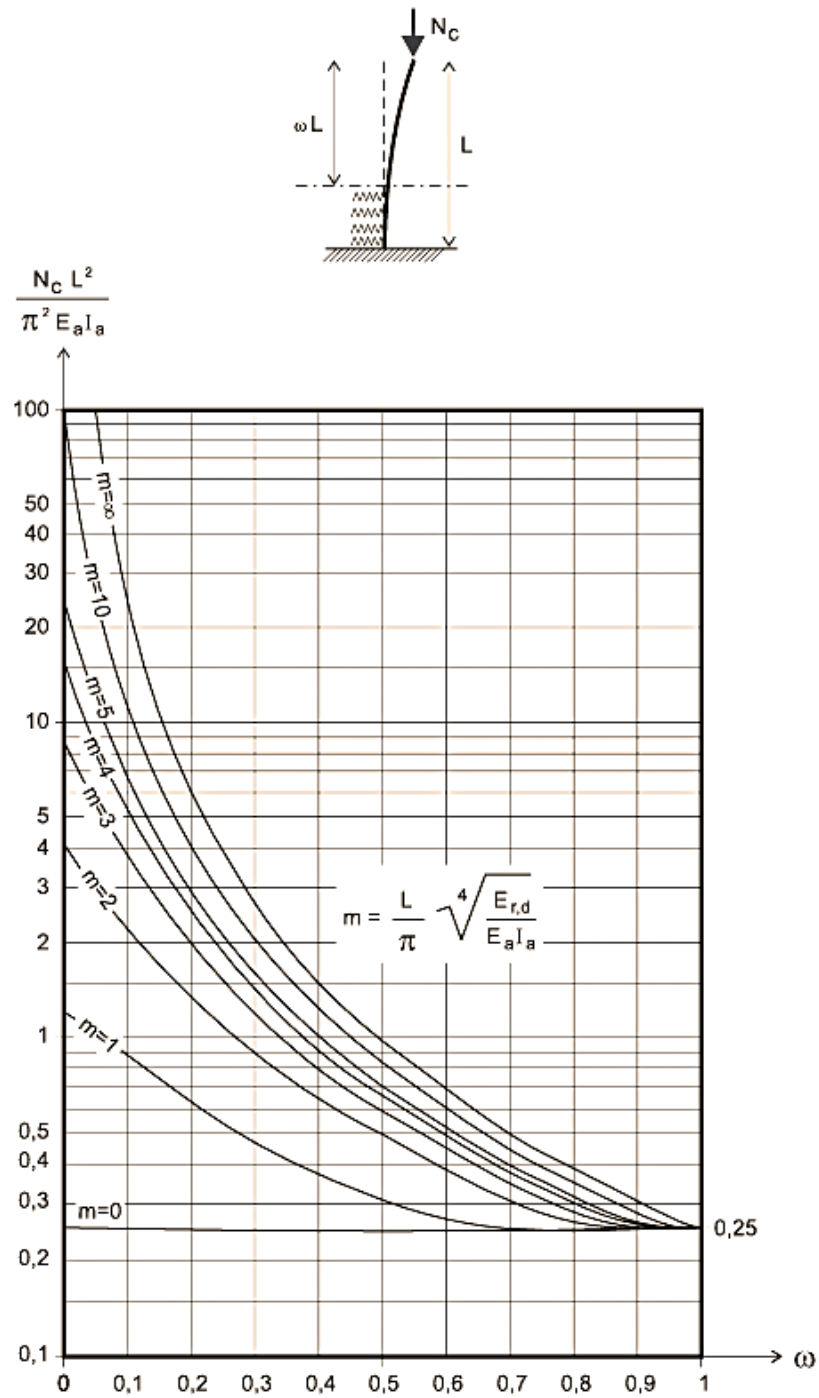


Figura 192 - Ábaco de Souche, base encastrada - cabeça livre (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005).

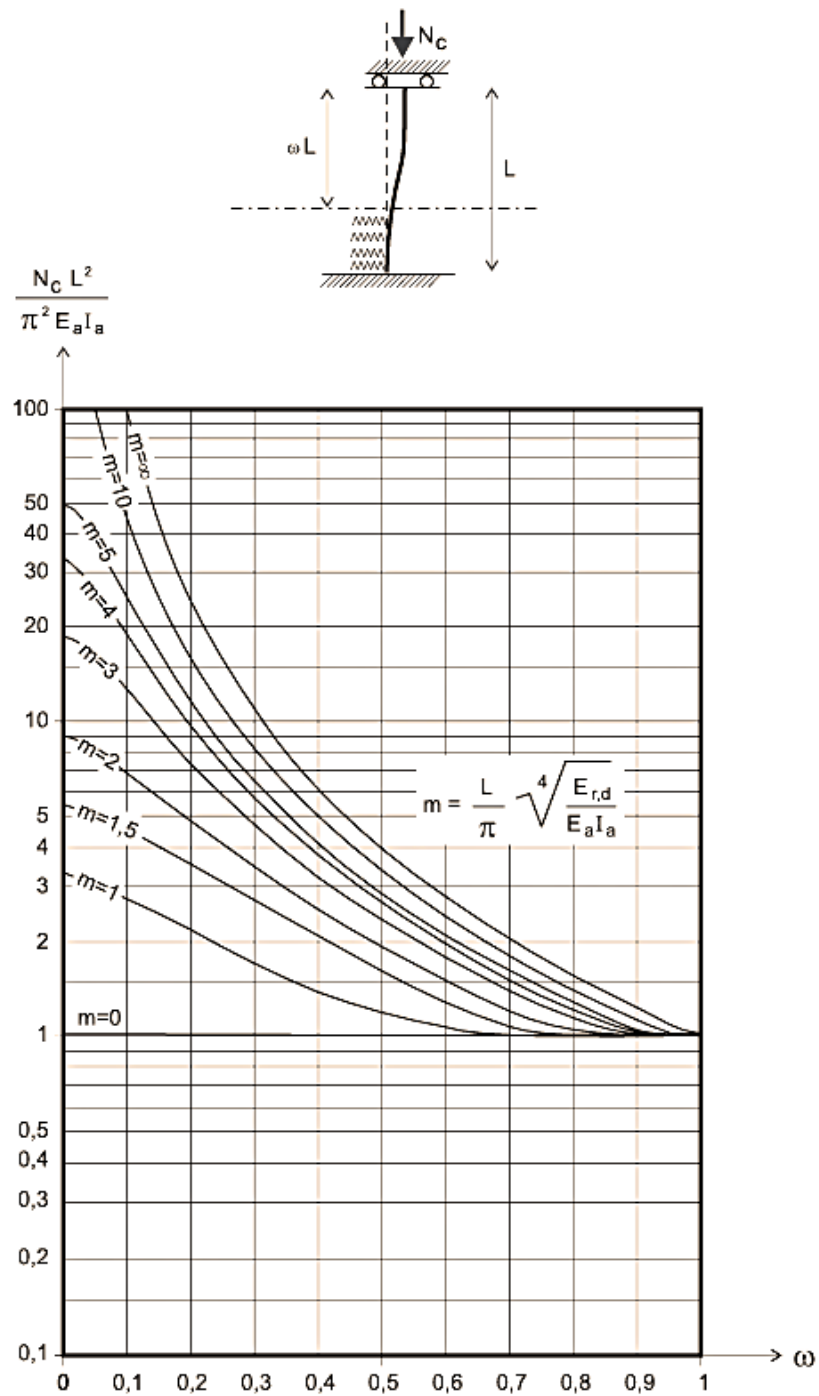


Figura 193 - Ábaco de Souche, base encastrada - cabeça com deslizamento horizontal sem giro (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005).

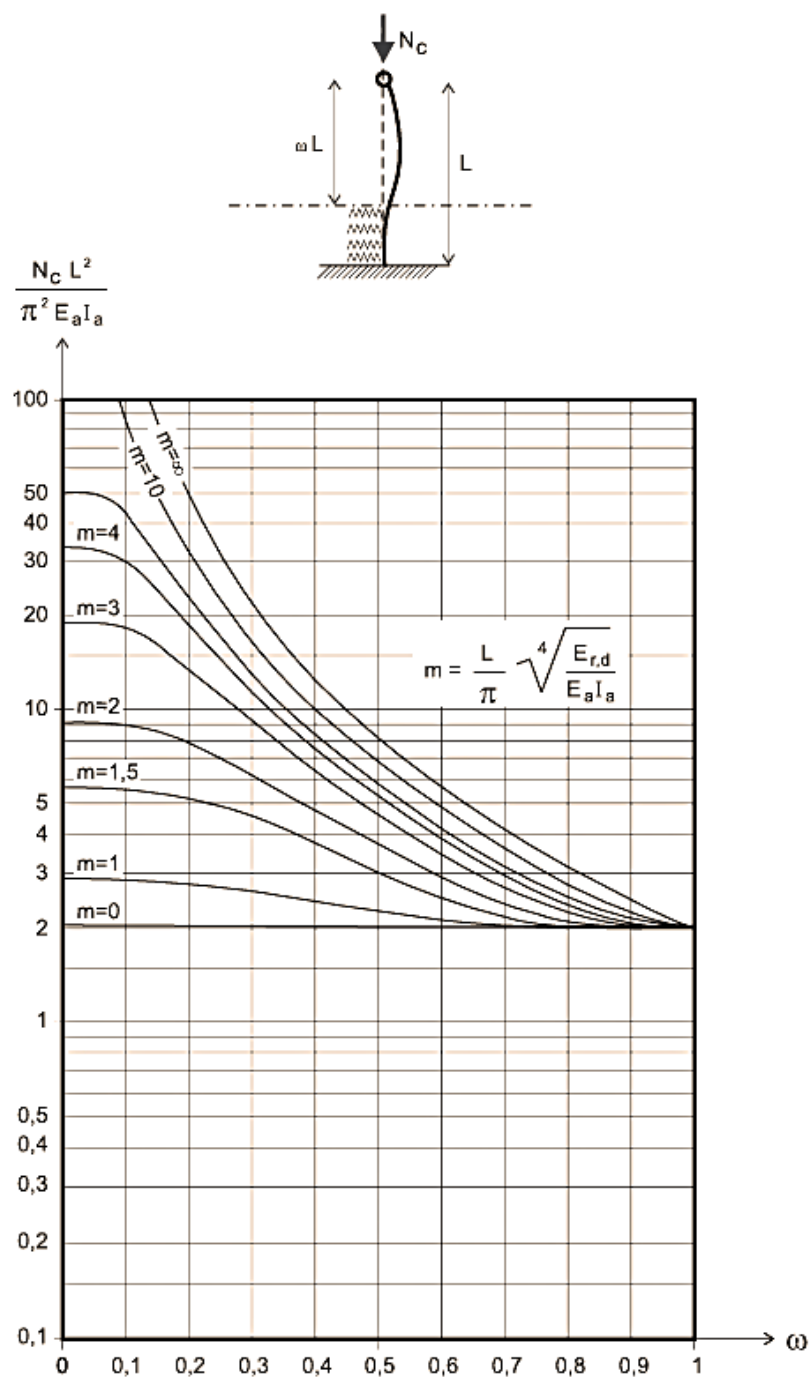


Figura 194 - Ábaco de Souche, base encastrada - cabeça articulada (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005).

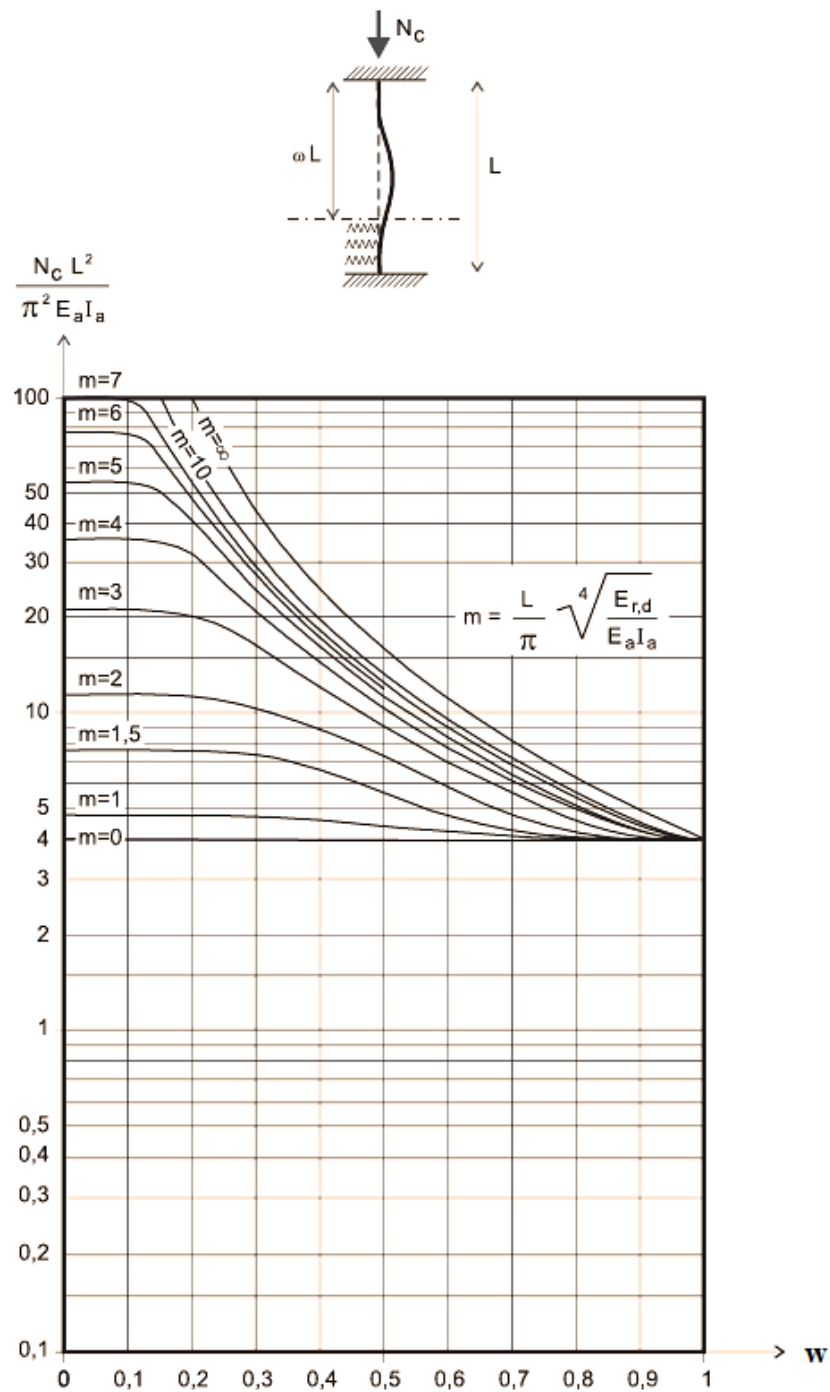


Figura 195 - Ábaco de Souche, base encastrada - cabeça encastrada (Adaptado de Ministério de Fomento, 2005).

## ANEXO IV – CATÁLOGO DE ARMADURAS

DIÂMETRO EXTERIOR	ESPESSURA	MÓDULO RESISTENTE cm <sup>3</sup>	MOMENTO DE INÉRCIA cm <sup>4</sup>	SECÇÃO DE AÇO cm <sup>2</sup>	PESO kgs/m	CARGA ADM. COMPRESSÃO Tn
43	3	3,52	7,58	3,77	3	19,8
48	4	5,62	13,48	5,53	5	29,1
60,3	3,2	7,78	23,46	5,74	5	30,2
60,3	6	12,66	38,16	10,23	8	53,8
73	6	19,56	71,40	12,62	11	66,4
73	6,5	20,75	75,74	13,57	12	71,4
73	7	21,88	79,88	14,51	12	76,3
73	8	23,98	87,54	16,33	13	85,8
73	8,5	24,95	91,08	17,22	14	90,5
73	9	25,87	94,43	18,09	15	95,1
73	10	27,57	100,62	19,78	16	104,0
88,9	3	16,81	74,73	8,09	7	42,5
88,9	6	30,34	134,87	15,62	13	82,1
88,9	6,5	32,31	143,62	16,82	14	88,4
88,9	7	34,20	152,04	18,00	14	94,6
88,9	7,5	36,02	160,12	19,17	16	100,8
88,9	8	37,77	167,88	20,32	16	106,8
88,9	8,5	39,44	175,33	21,46	17	112,8
88,9	9	41,05	182,47	22,58	19	118,7
88,9	9,5	42,59	189,32	23,69	19	124,5
88,9	10	44,07	195,88	24,77	20	130,2
88,9	12	49,36	219,41	28,98	23	152,3
101,6	6	40,66	206,57	18,01	15	94,7
101,6	7	46,04	233,87	20,79	17	109,3
101,6	7,5	48,59	246,84	22,16	18	116,5
101,6	8	51,06	259,37	23,51	19	123,6
101,6	9	55,74	283,14	26,17	21	137,6
101,6	10	60,09	305,26	28,76	23	151,2
101,6	12,5	69,66	353,87	34,97	28	183,8
114,3	7	59,64	340,86	23,58	19	124,0
114,3	8	66,37	379,30	26,70	21	140,4
114,3	9	72,70	415,46	29,76	24	156,4
114,3	10	78,64	449,43	32,75	26	172,2
127	8	83,71	531,53	29,89	25	157,1
127	9	91,93	583,78	33,35	28	175,3
127	10	99,72	633,23	36,74	29	193,1
127	12	114,04	724,13	43,33	35	227,8
139,7	7	92,17	643,81	29,17	23	153,3
139,7	7,5	97,68	682,32	31,13	25	163,7
139,7	8	103,07	719,92	33,08	26	173,9
139,7	9	113,45	792,43	36,94	31	194,2
139,7	10	123,33	861,46	40,73	33	214,1
139,7	11	132,73	927,11	44,45	36	233,7
139,7	12	141,66	989,49	48,12	38	253,0
139,7	12,5	145,95	1 019,49	49,93	40	262,5
152,4	6	97,14	740,19	27,58	22	145,0
152,4	9	137,24	1 045,77	40,52	35	213,0
152,4	10	149,47	1 138,95	44,71	36	235,1
168,3	7	137,28	1 155,20	35,45	28	186,4
168,3	9	170,24	1 432,56	45,02	36	236,7
168,3	10	185,76	1 563,19	49,71	40	261,3
168,3	11	200,67	1 688,64	54,33	43	285,6
168,3	16	266,55	2 242,98	76,52	61	402,2
177,8	9	191,66	1 703,85	47,70	38	250,8
177,8	9,5	200,58	1 783,19	50,20	40	263,9
177,8	10	209,34	1 861,04	52,69	42	277,0
177,8	11	226,36	2 012,36	57,61	46	302,9
177,8	12,5	250,69	2 228,66	64,88	51	341,1
193,7	6,3	168,22	1 629,22	37,07	30	194,9
193,7	12	293,01	2 837,76	68,46	54	359,9
203	6	177,55	1 802,16	37,11	30	195,1
203	9	254,66	2 584,76	54,82	44	288,2
203	12	324,61	3 294,82	71,97	57	378,3
219	6	208,00	2 277,58	40,13	32	211,0
219	8	269,77	2 953,93	53,00	42	278,6
219	9	299,31	3 277,46	59,35	47	312,0
219	10	327,99	3 591,46	65,63	52	345,0
219	11	355,81	3 896,15	71,84	57	377,7
219	20	570,66	6 248,76	124,97	99	657,0
244	10	412,97	5 038,25	73,48	58	386,3
244	11,5	466,13	5 686,80	83,96	66	441,4
244	12,5	500,39	6 104,74	90,86	72	477,7
273	6	328,56	4 484,81	50,30	40	-
298	14	846,82	12 617,60	124,85	99	656,3

Figura 196 - Catálogo de armaduras (Grupo Sondeos, 2025).