

**OTIMIZAÇÃO DE FOLHAS DE CÁLCULO COM SOFTWARE EXCEL PARA  
TRATAMENTO E OBTENÇÃO DOS RESULTADOS DE  
ENSAIOS EDOMÉTRICOS**

Maria Cristina Muniz de Sousa

Relatório Final de Projeto para obtenção do grau de Mestre em: **Engenharia da Construção**  
apresentado à: **Escola Superior de Tecnologia e Gestão Instituto Politécnico de Bragança.**

No âmbito da Dupla Diplomação com a **UniEvangélica.**

Trabalho realizado sob orientação de:

Orientador Professor Doutor António Miguel Verdelho Paula

Orientador Professor Doutor Manuel Joaquim da Costa Minhoto

Coorientadora Professora Doutora Cláudia Fabiana Alves Rezende

Novembro de 2020

**OTIMIZAÇÃO DE FOLHAS DE CÁLCULO COM SOFTWARE EXCEL PARA  
TRATAMENTO E OBTENÇÃO DOS RESULTADOS DE  
ENSAIOS EDOMÉTRICOS**

Maria Cristina Muniz de Sousa

Relatório Final de Projeto para obtenção do grau de Mestre em: **Engenharia da Construção**  
apresentado à: **Escola Superior de Tecnologia e Gestão Instituto Politécnico de Bragança.**

No âmbito da Dupla Diplomação com a **UniEvangélica.**

Trabalho realizado sob orientação de:

Orientador Professor Doutor António Miguel Verdelho Paula

Orientador Professor Doutor Manuel Joaquim da Costa Minhoto

Coorientadora Professora Doutora Cláudia Fabiana Alves Rezende

Novembro de 2020

*Dedico este trabalho a todos que amo, em especial a Deus,  
a minha mãe, ao meu pai e em memória a minha irmã que está no céu!*

*“A medida do amor é amar sem medida”*

*(São Francisco de Sales)*

## AGRADECIMENTOS

*“A todos os que amam Deus, Ele transforma tudo em bem;  
Deus até faz os caminhos errados e as faltas tornarem-se um bem.”*

*(Santo Agostinho)*

Agradeço primeiramente aos meus melhores amigos do céu, o meu Senhor Deus e ao meu Santo Anjo da Guarda, pois me destes a minha vida aqui na Terra e estais sempre me abençoando, protegendo e iluminando. E de tornar este momento possível em agradecê-los por todas as conquistas dos meus sonhos, guiando e dando forças para conseguir chegar até o fim de todos ciclos durante este caminho. Obrigada por sempre lembrar-me de estar comigo meu Anjo e meu Deus, amo vocês sem medida.

Reconheço e agradeço a todo milésimo de segundo desta minha vida à minha família, à minha mãe Aparecida Alves da Silva Sousa e meu pai João Bosco de Sousa, e em memória a minha irmã Isabela Maria Muniz de Sousa, a minha anjinha do céu, por presentear-me de muito amor, carinho, apoio, dedicação, fé, confiança e toda alegria que transmite. Sem vocês este sonho não tornaria realidade, pois todo o trabalho braçal, garra, preocupação e intenção pelo melhor partiram de vocês, em poder contribuir que minha formação quanto na educação escolar e pessoal pudesse chegar até o fim deste estudo como formanda no curso de Mestrado na Europa. Obrigada por crer e ter esperança em mim, e podem ter certeza quero sempre oferecer e conseguir o melhor para vocês e por vocês.

Principalmente também, aos meus professores Portugueses Professor Doutor António Miguel Verdelho Paula e o Professor Doutor Manuel Joaquim da Costa Minhoto, e aos meus professores Brasileiros a Professora Doutora Cláudia Fabiana Alves Rezende e o Professor de software em Excel Arthur de Sousa Paiva Borges. Foram meus parceiros de trabalho durante toda esta trajetória em que pude contar com apoio e orientações para o desenvolvimento e concretização desta Tese de Mestrado, sempre me incentivaram a não desanimar e mostraram-me o caminho certo para que pudesse chegar no melhor resultado do trabalho. Obrigada, sem vocês esta pesquisa não aconteceria, e com certeza sempre serei a eterna aluna que guardará na

memória todos ensinamentos e aprendizados obtidos durante este período, e de coração fica a minha gratidão, o respeito e a saudade do convívio e experiência deste tempo de estudo.

Em especial agradeço aos meus familiares tias, tios, madrinhas, padrinhos, primas e primos, que de forma direta e indireta sempre apoiaram, torceram e, principalmente, intercederam orações a mim para que eu conseguisse concluir este percurso da melhor forma e sucesso possível, sempre em busca de um futuro melhor. Mostro a minha gratidão e meu amor a vocês que durante esta jornada estavam sempre em lembranças e dispostos a me ajudar mesmo que com um simples gesto ou atitude mais que sempre contribuíram para que o meu sonho tornasse realidade.

É com grande felicidade que agradeço a todos os meus amigos e amigas, estes foram meus companheiros durante esta caminhada e contribuíram para um final feliz deste sonho, dos parceiros que conquistei no início do meu curso no Brasil e que ao longo do percurso também aqueles que fiz amizades em Portugal, e apesar da distância da família estes também se fizeram a minha segunda família sempre apoiando, torcendo e contribuindo para que a saudade fosse menos dolorida um ao outro. Também não esqueço as amizades de infância, estas apesar da distância sempre estiveram comigo, mas, cada um escolheu o seu caminho para trilhar. Deixo meus melhores sentimentos de gratidão e agradeço em ter conhecido vocês e por fazer parte da vida de todos. Desejo a amizade eterna para nós.

Desta forma, aos todos envolvidos para realização deste grande sonho em concluir este Mestrado na Europa, manifesto toda minha gratidão e agradecimentos por todos momentos e intenções vividos durante esta caminhada. Peço a Deus que continue abençoando, protegendo e iluminando a vida de todos vocês e seus familiares, que suas caminhadas pela vida sejam de muita alegria, paz e sucesso. Votos da Mestre Maria Cristina Muniz de Sousa aos seus irmãos queridos que jamais serão esquecidos.

*“Nada te perturbe, nada te espante. Tudo passa. Deus não muda.  
A paciência tudo alcança. Quem a Deus tem, nada lhe falta. Só Deus basta!”*  
(Santa Teresa de Ávila)

*“Por mais inteligente que alguém possa ser,  
se não for humilde, o seu melhor se perde na arrogância.*

*A humildade ainda é a parte mais bela da sabedoria”*

*(Nelson Swel)*

## RESUMO

Este trabalho detalha o processo de estudo acadêmico para desenvolvimento da otimização de uma folha de cálculo em Excel com base nos resultados gerados pelo ensaio edométrico. Essa pesquisa tem como objetivo tornar o arquivo mais automatizado, garantindo ao usuário um melhor tratamento na aquisição de dados do ensaio de forma mais rápida e evitando erros na obtenção dos resultados. A configuração desta otimização é baseada na criação de linguagem de programação na plataforma VBA e Macros para Excel juntamente com o desenvolvimento da performance visual do arquivo. Os resultados fornecidos pelo ensaio edométrico tornam-se como banco de dados para o arquivo Excel otimizado. Os dados do ensaio são gerados através da plataforma LabVIEW conectados aos sensores LVDT e uma placa de aquisição de dados de 16 bits ao PC, que são executados durante o ensaio de consolidação de maciços terrosos seguidos pelas normas brasileira sobre Solos de Adensamento do DNER-IE 005/94 e a internacional ASTM D2435 / D2435M - 11(2020) Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading. Conclui-se que o arquivo de cálculo em Excel otimizado está apto para o uso, servindo-se como uma ferramenta de cálculo em auxílio ao usuário que pretende obter resultados após realizar o ensaio edométrico de maciços terrosos. A folha de Excel otimizada executa a maior parte do tratamento dos dados que se pretende com a realização do ensaio, no entanto não se encontra totalmente finalizada. Assim, com a versão desenvolvida neste trabalho, o arquivo de excel permite obter os índices de compressibilidade e de recompressibilidade da amostra/solo e as curvas de relação entre o índice de vazios e tensão vertical efetiva aplicada à amostra. A folha de excel otimizada ainda não permite a obtenção dos coeficientes de consolidação vertical.

### **PALAVRAS-CHAVE:**

Excel. Otimização de resultados. Ensaio Edométrico. VBA e Macros para Excel. Geotecnia.

## **ABSTRACT**

This survey details the academic study process for developing the optimization of an Excel spreadsheet based on the results made by the edometric test. This research aims to make the file more automated, ensuring the user a better treatment in the acquisition of test data more quickly and avoiding errors in the results. The setting of this optimization is based on the creation of a programming language on the VBA platform and Macros for Excel including the development of the visual performance of the file. The results provided by the edometric test become a database for the optimized Excel file. The test data is generated through the LabVIEW platform connected to the LVDT sensors and a 16-bit data acquisition board to the computer, which are performed during the consolidation test of earth masses followed by the Brazilian standards on DNER-IE Density Soils 005/94 and the international ASTM D2435 / D2435M - 11 (2020) Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading. It may conclude that the optimized Excel calculation file is suitable for use, serving as a calculation tool to assist the user who intends to obtain results after carrying out the edometric test of earth masses. The optimized Excel sheet performs most of the data processing intended for the test, however it is not yet complete. Thus, with the version developed in this survey, the excel file allows obtaining the compressibility and recompressibility indices of the sample / soil and the relationship curves between the void index and effective vertical tension applied to the sample. The optimized excel sheet does not allow obtaining the vertical consolidation coefficients.

## **KEYWORDS:**

Excel. Results optimization. Edometric Testing. VBA and Macros for Excel. Geotechnics.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>21</b>
1.1. Objetivo do trabalho desenvolvido.....	21
1.2. Metodologia.....	22
1.3. Estrutura do trabalho .....	22
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>24</b>
2.1. Considerações iniciais .....	24
2.2. Tensão nos maciços terrosos .....	24
2.2.1. Estados de tensão.....	25
2.3. Consolidação .....	26
2.3.1. Tipos de consolidação .....	27
2.3.2. Tipos de assentamento.....	27
2.3.3. Relações tensões - deformações .....	30
2.3.4. Métodos para obtenção do coeficiente de consolidação.....	31
2.3.4.1. Método de Casagrande .....	32
2.3.4.2. Método de Taylor .....	33
2.4. Aceleração da consolidação.....	35
2.5. Ensaio edométrico .....	37
2.6. Célula de Rowe.....	38
2.6.1. Descrição da célula e acessórios.....	39
2.6.2. Vantagens e desvantagens da célula de Rowe.....	43
2.7. Considerações finais .....	44
<b>3. DESCRIÇÃO E EXECUÇÃO DO ENSAIO EDMÉTRICO.....</b>	<b>45</b>
3.1. Considerações iniciais .....	45
3.2. Definição .....	45
3.3. Equipamento de ensaio.....	47
3.3.1. Equipamento de ensaio edométrico.....	47
3.3.2. Células edométrica .....	49
3.3.3. Pedras porosas .....	50
3.3.4. Papel filtro .....	51
3.3.5. Extrator / prensa e amostrador.....	52
3.3.6. Defletômetro / extensômetro .....	52
3.3.7. Outros equipamentos .....	53
3.4. Amostragem .....	53
3.4.1. Trabalho de campo .....	53
3.4.1.1. Acesso direto .....	54
3.4.1.2. Acesso indireto .....	54
3.4.2. Extração e preparação das amostras .....	55
3.4.2.1. Amostras reconstituídas/deformadas.....	56
3.4.2.2. Amostras indeformadas .....	57
3.5. Ensaio edométrico .....	59

3.6. Considerações finais .....	60
<b>4. APRESENTAÇÃO DE UM ARQUIVO EM EXCEL OTIMIZADO PARA TRATAMENTO DOS RESULTADOS OBTIDOS DO ENSAIO EDMÉTRICO .....</b>	<b>62</b>
4.1. Considerações iniciais .....	62
4.2. Resultados gerados pelo equipamento do ensaio edométrico .....	62
4.3. Cálculos a realizar durante o ensaio edométrio .....	66
4.3.1. Otimização em planilhas de Excel para o tratamento dos resultados do ensaio.	70
4.3.2. Comandos e programação utilizados no arquivo de cálculo em Excel .....	76
4.3.2.1. Comandos para aspecto visual do arquivo .....	76
4.3.2.2. Programação para automatização do arquivo .....	83
4.3.3. Instrução a utilização do arquivo Excel otimizado.....	86
4.3.4. Verificação do arquivo de cálculo otimizado .....	104
4.4. Considerações finais .....	114
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>115</b>
5.1. Conclusão final .....	115
5.2. Sugestões para estudos futuros .....	116
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>118</b>

## ANEXOS

<b>Anexo 1</b> – Construção do código para a Pasta de Trabalho no VBE.....	A1
<b>Anexo 2</b> – Construção do código do SQL no VBE.....	A2
<b>Anexo 3</b> – Construção do código de instruções Públicas e Privadas no VBE.....	A3
<b>Anexo 4</b> – Construção do código para Macros simples no VBE.....	A4
<b>Anexo 5</b> – Construção do código do Formulário no VBE.....	A5

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipo de assentamento no solo. (Fernandes, 2011).....	28
Figura 2 - Assentamento em qualquer instante. (Fernandes, 2011) .....	30
Figura 3 - Resultado da curva de ensaio edométrico. (Freitas, 2018) .....	30
Figura 4 - Gráfico do Método de Casagrande. (Adaptado Serafim, 2017) .....	32
Figura 5 - Gráfico do Método de Taylor. (Adaptado Serafim, 2017) .....	34
Figura 6 - Drenos verticais. (Adaptado Cerqueira, 2016) .....	36
Figura 7 - Estacas de brita. (Adaptado Cerqueira, 2016) .....	37
Figura 8 - Ensaio edométrico. (Fernandes, 2011) .....	38
Figura 9 - Célula de Rowe. (Freitas, 2018) .....	39
Figura 10 - Componentes da célula de Rowe. (Adaptado Mendes, 2016) .....	40
Figura 11 - Acessórios da célula de Rowe. (Adaptado Mendes, 2016).....	41
Figura 12 - Modelo Terzaghi. (Fernandes, 2011).....	45
Figura 13 - Equipamento fabricado para o ensaio edométrico pela empresa Matest. (Matest, 2020).....	48
Figura 14 - Peças que compõem o equipamento edométrico. (Adaptado Matest, 1990).....	49
Figura 15 - Célula com anel fixo da máquina de ensaio edométrico. (DNER-IE 005, 1994)..	49
Figura 16 - Célula com anel flutuante da máquina de ensaio edométrico. (DNER-IE 005, 1994).....	50
Figura 17 - Pedra porosa. (Contenco, 2020).....	51
Figura 18 - Papel filtro. (Contenco, 2020) .....	52
Figura 19 - Extrator/prensa e amostrador. (Laboratório ESTIG/IPB; Freitas, 2018).....	52
Figura 20 - Defletômetro e LVDT. (Solotest; Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	53
Figura 21 - Coleta de amostras indeformadas por acesso direto. (Fernandes, 2016) .....	54
Figura 22 - Coleta de amostras indeformadas por acesso indireto. (Rlyls, 2019).....	55
Figura 23 - Amostra reconstituída / deformada. (Laboratório ESTIG/IPB, 2020).....	56
Figura 24 - Sequência da compactação da amostra reconstituída. (Lopes, 2014).....	57
Figura 25 - Amostra indeformada. (Freitas, 2018).....	58
Figura 26 - Amostra indeformada torneada. (Freitas, 2018) .....	58
Figura 27 - Célula edométrica. (Mendes, 2016; Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	59
Figura 28 - Resumo ensaio edométrico. (Elaborada pela autora, 2020).....	61
Figura 29 - Representação dos edômetros. (Laboratório ESTIG/IPB, 2020).....	63
Figura 30 - Bancada com os pesos Kg para apoio ao ensaio. (Freitas, 2018) .....	63
Figura 31 - Demonstração do PC conectados aos edômetros. (Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	64
Figura 32 - Interface gráfica gerada pela plataforma LabVIEW. (Freitas, 2018) .....	65
Figura 33 - Armazenamento de dados em um arquivo Layout em extensão csv. (Freitas, 2018) .....	65
Figura 34 - Representação de gráfico obtido pelo resultado do ensaio edométrico. (Paula, 2017).....	66
Figura 35 – Aba de cálculo dos ciclos de cargas - folha não otimizada. (Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	72
Figura 36 - Aba de cálculos das propriedades da amostra - folha não otimizada. (Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	73

Figura 37 - Aba de cálculo do índice de vazios e consolidação - folha não otimizada. (Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	74
Figura 38 - Aba de cálculo do tempo e deformação vertical - folha não otimizada. (Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	75
Figura 39 - Aba menu inicial - folha otimizada. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)..	77
Figura 40 - Aba de cálculo dos ciclos de cargas - folha otimizada. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	78
Figura 41 - Aba menu principal - folha otimizada. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	79
Figura 42 - Aba de cálculos das propriedades da amostra – folha otimizada. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	80
Figura 43 - Aba de cálculo do índice de vazios e consolidação - folha otimizada. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	81
Figura 44 - Aba de cálculo do tempo e deformação vertical - folha otimizada. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	82
Figura 45 - Construção do formulário VBA. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020).....	85
Figura 46 - Tipo de modelo gravado no PC, criado pelo software ensaio edométrico. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	86
Figura 47 - Modificar arquivo csv para xlsb. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020).....	87
Figura 48 - Tipo de modelo gravado no PC, após converter o formato. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	87
Figura 49 - Nomear arquivo e aba do ficheiro. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)....	88
Figura 50 - Botão para inserir o arquivo do ensaio edométrico. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	89
Figura 51 - Diálogo do diretório da escolha da "Pasta" no PC. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	90
Figura 52 - Diálogo do diretório da escolha do "Ficheiro xlsb" no PC. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	90
Figura 53 Caixa de diálogo para atualizar o banco de dados (BD). (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	91
Figura 54 - Caixa de diálogo do processo de carregamento do ficheiro xlsb. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	91
Figura 55 - Caixa de diálogo sobre a duração da operação. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	92
Figura 56 - Caixa de diálogo sobre erro. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	92
Figura 57 - Caixa de diálogo a atenção ao tipo de ciclo de carga utilizado no ensaio edométrico. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	93
Figura 58 - Botão para escolha do tipo de ciclo de carga utilizado no ensaio edométrico. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	93
Figura 59 - Abas criadas para o cálculo do tempo de deformação vertical. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	95
Figura 60 - Botão atualizar nas planilhas de cálculo do tempo de deformação vertical. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	96
Figura 61 - Caixa de diálogo ao atualizar tabelas e gráficos. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	97
Figura 62 - Cálculo das abas do ciclo de carga (pequena, média ou grande). (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	98

Figura 63 - Dados a ser preenchido na aba menu principal. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	100
Figura 64 - Dados preenchido na aba grandeza iniciais – finais. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	101
Figura 65 - Dados preenchido na aba vazios e consolidação. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	103
Figura 66 - Carregamento do edômetro 3, solo silto-argiloso. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	105
Figura 67 - Aba sobre o tempo de deformação vertical. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	106
Figura 68 - Gráfico deslocamento vertical (mm) x $t$ . (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	107
Figura 69 - Gráfico deslocamento (mm) x $t$ (min). (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	107
Figura 70 - Aba ciclo de carga (média). (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	108
Figura 71 - Preenchimento da aba menu principal - parte 1. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	109
Figura 72 - Preenchimento da aba menu principal - parte 2. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	110
Figura 73 - Cálculos dos dados referente as grandezas iniciais e finais. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	111
Figura 74 - Cálculo da aba vazios e consolidação. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	112
Figura 75 - Gráfico índice de vazios x tensão efetiva vertical (kPa). (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020) .....	113
Figura 76 - Resultado comparado índice de compressibilidade $C_c$ e índice de recompressibilidade $C_r$ . (Freitas, 2018) .....	113
Figura 77 - Resultado comparado índices de vazios x log. da tensão vertical (kPa). (Freitas, 2018) .....	114

## LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Assentamento primário em carregamento confinado. (Adaptado Cerqueira, 2016)	28
Tabela 2 - Assentamento secundário em carregamento não – confinado. (Adaptado Cerqueira, 2016)	29
Tabela 3 - Tipos de compactação. (Silva, 2016)	57
Tabela 4 - Curva de Adensamento conforme a Norma DNER-IE 005/94. (Adaptado DNER-IE 005, 1994)	67
Tabela 5 - Curva de Adensamento conforme a Norma DNER-IE 005/94. (Adaptado DNER-IE 005, 1994)	70
Tabela 6 - Dados do solo realizado durante o ensaio edométrico. (Elaborado pela autora, 2020)	104

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

A	Área da Célula de Consolidação ou Área da Amostra de Solo
ANSI	American National Standard Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
BD	Banco de Dados
°C	Graus Celsius
CG	Ensaio de Consolidação com Gradiente de Pressão Intersticial Constante
cm	Centímetros
cm <sup>3</sup>	Centímetro Cúbico
C <sub>r</sub>	Índice de Recompressibilidade ou Recompressão
CRL	Ensaio de Consolidação com Velocidade Constante de Carregamento
CRS	Ensaio de Consolidação com Taxa de Deformação Constante
CPR	Ensaio de Consolidação com Razão a Pressão Intersticial/Tensão Aplicada Constante
CPT	Ensaio de Penetração Estática do Cone
csv	Valores Separados por Vírgulas
C <sub>s</sub>	Índice de Expansibilidade
C <sub>v</sub>	Coefficiente de Consolidação Vertical ou Coeficiente de Adensamento
D <sub>i</sub>	Diâmetro Interno da Célula de Consolidação
Δe	Variação do Índice de Vazios
Δh	Variação de Altura da Amostra de Solo
DNER-IE	MT-Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Instrução de Ensaio
e	Índice de Vazios
e <sub>0</sub>	Índice de Vazios Inicial da Amostra
ESTiG	Escola Superior de Tecnologia e de Gestão
EXCEL	Software da Microsoft
G	Densidade das Partículas
g ou gr	Gramas
h	Horas
h <sub>0</sub>	Altura Inicial da Amostra
HTML	Hypertext Markup Language
H <sub>50</sub>	Altura do Corpo de Prova correspondente a 50% do Adensamento Primário

IBM	International Business Machines Corporation
IPB	Instituto Politécnico de Bragança
ISSO	International Organization for Standardization
kg	Quilograma
kgf	Quilograma-força
kN	KiloNewton
kPa	QuiloPascal
log t	Logaritmo do Tempo
LabVIEW	Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench
LVDT	Linear Variable Differential Transformer
MATEST	Material Testing Equipment
MCH-ISEC	Método de Compactação de Harvard
m	Metros
m <sup>3</sup>	Metro Cúbico
min	Minutos
mm	Milímetro
n°	Número
N	Newton
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PC	Personal Computer
%	Porcentagem
$\sqrt{t}$	Método da Raiz Quadrada do Tempo
$\sqrt{t}$	Raiz Tempo
RFC	Ensaio de Consolidação com Fluxo Restringido
$\sigma'_p$	Tensão Pré – Consolidação
$\sigma'_v$	Incremento de Tensão Efetiva Vertical
$\sigma'_{v0}$	Tensão Efetiva Vertical em Repouso
s	Segundos
SQL	Structured Query Language
SPT	Ensaio Padronizado de Penetração
$t_{50}$	Tempo correspondente a ocorrência de 50% de Adensamento Primário
$t_{90}$	Tempo correspondente a ocorrência de 90% de Adensamento Primário
v	Volume Total

VBA	Virtual Basic for Applications
VBE	Visual Basic Editor
$V_i$	Volume Interno da Célula de Consolidação
$w$ (%)	Teor de Humidade do Solo (Porcentagem)
$w_0$	Teor de Água Inicial
$w_f$	Teor de Água Final

# CAPÍTULO 1

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1. OBJETIVO DO TRABALHO DESENVOLVIDO**

“Nas aulas de Mecânica dos Solos, os estudantes de Engenharia Civil, logo percebem que essa matéria tem características muito distintas das demais ciências da Engenharia. Acostumados a tratar mais dos esforços sobre matérias cujas propriedades são razoavelmente bem definidas, deparam-se com uma disciplina que se inicia mostrando a grande diversidade dos solos, para os quais existem modelos específicos de comportamento.” (Pinto, 2006)

Na grande diversidade de estudos na Engenharia Geotécnica, apresentam-se os principais efeitos ocorrentes em maciço terrosos ou rochosos quando submetidos a cargas elevadas. Na análise consideram-se todos os fatores naturais envolvidos (relevo, vegetação, bacias hidrográficas...) e juntamente com realização de ensaios físicos e mecânicos em laboratórios ou em campo, permite contribuir para descobrir os diferentes problemas e aplicar a melhor solução. (Palmeira, 2020)

O principal objetivo deste trabalho consiste em apresentar o ensaio edométrico, demonstra-se o detalhamento de todo o processo, execução e análise dos resultados obtidos com base na otimização de uma planilha de Excel, referente às normas brasileiras sobre Solos – Adensamento do DNER-IE 005/94 e a internacional ASTM D2435 / D2435M - 11(2020) Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading.

Este ensaio determina o assentamento dos solos, prioriza-se o estudo de amostras de maciços terrosos argilosos, por apresentarem uma característica de baixa permeabilidade. A simulação baseia-se na aplicação de tensões em determinados períodos de tempo, que representam uma carga da construção sobre o solo natural. Como resultado obtém-se uma relação entre a carga vertical aplicada com o assentamento. O assentamento varia com o tempo e carga aplicada. A este fenômeno, variação do índice de vazios com expulsão de água no solo ao longo do tempo, quando sujeito as cargas constantes, chama-se consolidação do solo. (Fernandes, 2011)

Desta forma, a importância da realização de estudos de consolidação de solos e o uso do ensaio edométrico para prever futuros problemas de assentamentos, e assim prevenir esta ocorrência antes que aconteça, utilizando-se tecnologias existentes em amenizar, ou até mesmo impedir, graves efeitos gerados pelos assentamentos imprevisíveis numa obra. Consequentemente, gera-se uma maior rapidez e eficácia na construção, dando-lhe maior segurança, durabilidade e também reduzindo os custos de manutenções futuras com problemas geotécnicos. (Freitas, 2018)

## **1.2. METODOLOGIA**

A metodologia adotada para realização deste trabalho baseia-se em pesquisas relacionadas à mecânica dos solos como: tipos e características dos solos, fases e processos da consolidação, cálculos referentes aos índices de compressibilidade e consolidação, abordagem de normas e estudos sobre ensaios de consolidação como o ensaio edométrico, entre outros.

Serão, assim, abordadas as normas de ensaio sobre os procedimentos de ensaio edométrico como as normas brasileira sobre Solos – Adensamento do DNER-IE 005/94 e a internacional ASTM D2435 / D2435M - 11(2020) Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading e referidos algumas das atividades executadas com o ensaio edométrico realizados no Laboratório de Geotecnia do Instituto Politécnico de Bragança, e pesquisas sobre as características do aparelho no site MATEST (Material Testing Equipment) marca do equipamento que dispõe no laboratório.

Posteriormente será apresentada a planilha de Excel otimizada para o tratamento de resultados obtidos pelo equipamento de ensaio, sendo esta parte o foco principal deste trabalho. Os resultados gerados pelo ensaio e a planilha de Excel e execução das figuras de fluxograma serão apresentados aqui. Os aperfeiçoamentos e otimizações geradas serão também apresentados.

## **1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO**

A organização da estrutura do trabalho divide-se em cinco capítulos que demonstram os principais pontos e fatores considerados durante o processo de consolidação, demonstram-se as etapas da realização do ensaio edométrico e análise de

resultados obtidos pelo ensaio com apoio de uma folha de Excel, sendo a mesma otimizada para melhor facilidade ao usuário.

Assim: o primeiro capítulo, apresenta uma breve introdução, a estrutura e a metodologia usada.

O segundo capítulo contém a contextualização da revisão bibliográfica, conteúdo baseado em livros, artigos, trabalhos de conclusões de cursos entre outros meios para base em pesquisas. É neste capítulo que se apresentam todos os estudos necessários para o entendimento sobre o efeito da consolidação do solo.

O terceiro capítulo contém a apresentação da norma do ensaio edométrico sobre Solos – Adensamento do DNER-IE 005/94 e a internacional ASTM D2435 / D2435M - 11(2020) Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading, e no catálogo de manual do equipamento edométrico (MATEST, 1990) e (MATEST, 2020). Objetiva-se a exemplificação e o detalhamento do equipamento, o processo correto de execução do ensaio que se baseia em ensaios já realizados no Laboratório de Geotecnia do Instituto Politécnico de Bragança.

No quarto capítulo é apresentada a análise de resultados e o tratamento dos resultados obtidos após a realização de ensaios edométricos. Será abordada a automatização do equipamento de ensaio do Laboratório de Geotécnica do IPB, através de registros de dados baseados em sensores LVDT (Linear Variable Differential Transformer) e LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) de software para PC (Personal Computer). Será apresentada a planilha de Excel otimizada para obtenção dos resultados e dos parâmetros de consolidação do solo ensaiado. A planilha foi otimizada com ferramentas próprias da folha de Excel para assim, com maior rapidez, facilidade e qualidade o usuário obtenha os resultados finais do processo do ensaio edométrico.

O quinto capítulo contém o resumo das conclusões obtidas sobre todo o trabalho realizado, recapitulando os principais pontos e motivos do uso do ensaio edométrico, apresenta sugestões de estudos futuros para os próximos trabalhos realizados sobre o assunto do ensaio edométrico.

## **CAPÍTULO 2**

### **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Os solos são recursos naturais extremamente abundantes na natureza e têm origem na meteorização das rochas da crosta terrestre. Ocorrem sob a forma de partículas de diversa constituição mineral e por vezes também orgânica e com uma gama enorme de dimensões. No seu estado natural é definido como agregado não-cimentado composto por grãos minerais e matéria orgânica decomposta, caracterizada como partículas sólidas, preenchido com líquido (água) e gás (ar) nos espaços vazios das partículas. (Moreira, 2011)

Para fins de engenharia, o solo é usado de suporte a construção em que os engenheiros civis devem estudar as propriedades do solo, como sua origem, distribuição dos grãos, capacidade de drenagem da água, compressibilidade, resistência ao cisalhamento e capacidade de carga. (Das, 2007)

Em termos técnicos, a compreensão da engenharia geotécnica que é a subdivisão da engenharia civil que envolve os materiais naturais encontrados próximos à superfície da terra, inclui a aplicação dos princípios da mecânica dos solos e da mecânica das rochas ao projeto de fundações, estruturas de contenção e estruturas de terra. (Das, 2007)

#### **2.2. TENSÃO NOS MACIÇOS TERROSOS**

Esse fenômeno ocorre na maneira como as forças se transmitem de partícula a partícula, que é muito complexa, e depende do tipo de mineral. No caso das partículas maiores, em que as três dimensões ortogonais são aproximadamente iguais, como são os grãos de siltes e de areias, a transmissão de forças é através do contato direto de mineral a mineral. No caso de partículas de mineral argila em número muito grande, as forças em cada contato são muito pequenas e a transmissão pode ocorrer através da água quimicamente absorvida. Em qualquer caso, a transmissão se faz nos contatos e, portanto, em áreas muito reduzidas em relação a área total envolvida. (Pinto, 2006)

Esse subcapítulo tem como objetivo descrever o estado de tensão nos maciços terrosos, e essas tensões ocorrem devido ao peso próprio e às cargas aplicadas ao solo, esse solo é constituído por partículas, e essas forças são transmitidas de partícula a partícula, sendo que algumas são suportadas pela água e vazios que estejam em contato. Quando se conhecem essas forças submetidas, compreende-se o comportamento do solo, assim podem-se prevenir problemas geotécnicos relacionados a esse efeito. (Freitas, 2018)

### **2.2.1. ESTADOS DE TENSÃO**

As principais questões relativas ao estado de tensão dos solos serem analisadas são: o princípio da tensão efetiva; estado de tensão de repouso; tensões induzidas por forças exteriores e resistência ao corte. Mas, para o estudo de tensões de problemas de consolidação e especificamente para o ensaio edométrico, deve-se dar especial importância ao estado de tensão vertical e carregamentos uniaxial de solos. (Freitas, 2018)

O Princípio da Tensão Efetiva é a tensão transmitida pelos contatos entre as partículas, sendo que a tensão no esqueleto sólido é determinante no comportamento do solo, essa tensão está associada à tensão total. Sabe-se que essa tensão total se determina pelo somatório da tensão efetiva com a tensão neutra, nota-se que a pressão neutra é a pressão da água, sendo a tensão no líquido intersticial não determinante no comportamento do solo. (Fernandes, 2011)

O princípio da tensão efetiva para Terzagui demonstra-se que a tensão efetiva é igual a tensão total subtraída da tensão neutra, o mesmo controla certos fatores essenciais do comportamento do solo, entre eles o índice de compressibilidade e a resistência do solo. (Fernandes, 2011)

O Estado de Tensão de Repouso é definido pelas tensões devidas ao peso próprio e às cargas aplicadas pelo maciço. O estado de tensão no solo é considerado por dois tipos de situação: as tensões virgens, estas relacionadas ao peso próprio do solo sem sofrer nenhuma alteração com alguma obra humana; outra, são as tensões induzidas, impostas a ações pelas obras sobre os maciços ou no próprio interior. (Fernandes, 2011)

As tensões virgens podem ser causadas pelo peso próprio e as tensões tectônicas. Estas últimas são as forças geradas no próprio interior da crosta terrestre presente nos maciços rochosos. Nota-se que as tensões de repouso são devido à ação da gravidade quanto no solo ou na rocha, surge a tensão vertical normal. (Fernandes, 2011)

Considera-se que em solos estratificados onde o nível freático não está exatamente à superfície do terreno, as tensões em profundidade são contínuas, mas não com declive constante, dessa forma deve-se calcular as tensões isoladamente para cada estrato adicionando as resultantes dos estratos superiores e a tensão neutra é nula à profundidade do nível freático. (Fernandes, 2011)

Nas Tensões Induzidas por Forças Exteriores, quando um solo é solicitado por tensões exteriores diz-se que estas são induzidas. Acontece sempre que se executa uma construção, quando se implementam estruturas sobre um solo ou maciço sofre com as solicitações geradas por elas, sendo necessário conhecer as alterações que o solo pode sofrer nomeadamente ao nível das deformações. (Cerqueira, 2016)

Os diferentes comportamentos relacionados às deformações dos solos podem-se referir que, quanto o solo se deforma tem o comportamento elástico e as deformações são reversíveis, ou seja, se retirarmos a carga aplicada no solo, esse recupera a sua forma original. Quer dizer que o solo na realidade tem comportamento elasto-plástico, pois, quando sujeito a forças exteriores há deformações elásticas e deformações que não são recuperadas. (Cerqueira, 2016)

A Resistência ao Corte corresponde à máxima capacidade resistente do solo, definida pelos critérios de rotura. Os critérios de rotura mais usados na mecânica dos solos são: o critério de Mohr-Coulomb e critério de Tresca. Os parâmetros de resistência a usar nos critérios de rotura podem ser obtidos em laboratórios, pelo ensaio triaxial e/ou corte direto, ou em campo através de correlações empíricas com ensaios in situ como o SPT (ensaio padronizado de penetração) e o CPT (ensaio de penetração estática do cone). (Cerqueira, 2016)

### **2.3. CONSOLIDAÇÃO**

O termo referido como consolidação, adensamento ou assentamento baseia-se no processo de uma massa de solo saturado (solos argilosos coerentes), constituído partículas sólidas e água vê diminuindo o seu índice de vazios com a expulsão da fase líquida, diminuição do teor em água do solo. Um solo, submetido a uma tensão de confinamento sofre deformações volumétricas, esse fenómeno ocorre pela redução do índice de vazios, ou seja, pela expulsão de água existente no solo, provocando a variação da espessura dos estratos. (Freitas, 2018)

A consolidação está associada a processos relativamente lentos, provocados pela atuação de uma sollicitação estática e contínua, que dá origem à aproximação progressiva das partículas, ao mesmo tempo em que se verifica o escoamento (expulsão) dessa fase. (Cunha; Costa; Pimentel, 2018)

### **2.3.1. TIPOS DE CONSOLIDAÇÃO**

Na consolidação por carregamento sob confinamento lateral, o comportamento dos solos nessas condições são idênticos às simulações nos ensaios edométricos clássicos, o maciço terroso é submetido por uma carga uniformemente distribuída, numa área cujas dimensões em planta são muito superiores à espessura dos estratos compressíveis, diz-se que está carregado em condições de confinamento lateral; um exemplo disso é a deposição natural dos estratos de solos. (Mendes, 2011)

Num estrato confinado, as deformações horizontais são nulas, existindo apenas deslocamentos verticais. Os assentamentos serão mínimos no contato com o substrato (considerado rígido) e máximos à superfície, dando origem à redução da espessura de cada um dos estratos, com destaque para os solos argilosos, por serem aqueles que exibem, em geral, maior compressibilidade. (Mendes, 2011)

A consolidação unidimensional, baseada na Teoria de Terzaghi (no capítulo 3 mais informações desta teoria), tem como objetivo a avaliação do tempo necessário para que se processe a consolidação de um estrato (expulsão da água dos poros). Compreende-se que maciço terroso submetido a um carregamento, na sua primeira etapa esteja em fase de assentamento imediato do solo, após a conclusão do carregamento passa para etapa da fase de consolidação, em sua última etapa o assentamento secundário, isso ocorre quando toda água é expulsa do solo. (Mendes, 2011)

A consolidação radial, é uma consolidação quando são inseridos drenos verticais ao maciço com intuito de acelerar a velocidade de assentamento do solo, dessa forma, os drenos contribuem para aceleração dos assentamentos nos solos. (Mendes, 2011)

### **2.3.2. TIPOS DE ASSENTAMENTO**

Nos solos existem diferentes tipos de assentamento com diferentes magnitudes. Assim, os assentamentos podem ser divididos em assentamento imediato, assentamento por consolidação ou assentamento primário e assentamento secundário, ver Figura 1.

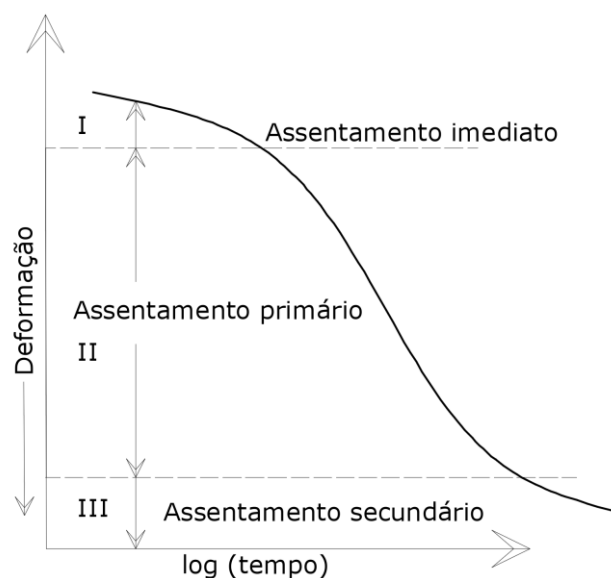


Figura 1 - Tipo de assentamento no solo. (Fernandes, 2011)

O assentamento imediato deve-se à porosidade do solo, o assentamento primário deve-se à expulsão de água do maciço, devido aos fenômenos de consolidação dos maciços terrosos. (Freitas, 2018)

Este assentamento (assentamento por consolidação) ocorre em situações admitindo a Teoria de Consolidação de Terzaghi, para condições em que os solos estão sujeitos a um carregamento confinado e para tal assenta em algumas hipóteses referidas na Tabela 1. (Cerqueira, 2011).

Tabela 1 - Assentamento primário em carregamento confinado. (Adaptado Cerqueira, 2016)

Assentamento Primário - Carregamento Confinado	
O solo está completamente saturado;	O solo não altera as suas propriedades durante o processo de consolidação e podemos extrapolar o comportamento de uma pequena porção de solo para as dimensões do maciço real;
A compressão é unidimensional;	
É válida a Lei de Darcy;	
O solo é homogêneo;	
As partículas sólidas e a água são incompressíveis;	Para um intervalo curto de tensões e de deformações, considera-se que o coeficiente de permeabilidade (k), o coeficiente de compressibilidade e o coeficiente de compressibilidade volumétrica, são constantes.
O índice de vazios varia linearmente com o aumento da tensão efetiva durante a consolidação;	
Admite-se a válida a hipótese dos pequenos deslocamentos;	

O assentamento que ocorre após dissipação do excesso de pressão neutra, relativo à construção do esqueleto sólido do solo, denomina-se de assentamento secundário. (Freitas, 2018)

As deformações observadas nessa fase ocorrem a uma tensão efetiva constante e relacionam-se com o reajuste da estrutura do solo, após a perda de água contida nos poros. Apesar de não ter a designação de consolidação primária, nesta também ocorre expulsão de água, devido obviamente a um excesso de pressão neutra e de gradientes hidráulicos que, embora pequenos, favorecem a ocorrência de fluxo de água. Esse movimento hidrodinâmico faz-se a uma velocidade muito baixa e já não se rege pela Lei de Darcy (essa lei está associada a permeabilidade do solo, determina a capacidade variável que um solo possui de permitir o fluxo de água). (Cerqueira, 2016)

Quando se trata de carregamento não-confinado é preciso considerar-se o problema em duas ou três dimensões conforme a Teoria de Biot, onde considera o esqueleto sólido do solo em possuir comportamento elástico-linear), na Tabela 2:

Tabela 2 - Assentamento secundário em carregamento não – confinado. (Adaptado Cerqueira, 2016)

<b>Assentamento Secundário - Carregamento Não-Confinado</b>
Ocorrem pequenas deformações no esqueleto do solo e pequenas velocidades no fluido;
É válida a Lei de Darcy;
O solo encontra-se saturado;
É válido o Princípio da Tensão Efectiva;
Há uma relação elástica-linear entre as tensões efectivas e as deformações.

Com a Teoria de Consolidação de Terzaghi pode-se determinar o assentamento em qualquer instante de tempo. O grau de consolidação médio é a porcentagem média do acréscimo de tensão efetiva num determinado instante. A Figura 2 permite determinar o grau de consolidação médio em função do fator tempo, T. O fator tempo T depende do coeficiente de consolidação vertical do solo em estudo, quanto maior for o coeficiente de consolidação mais rápido se processa a consolidação do solo, esse parâmetro é determinado no ensaio edométrico, função da velocidade com que se processa o assentamento para cada estágio de carga. (Fernandes, 2011)

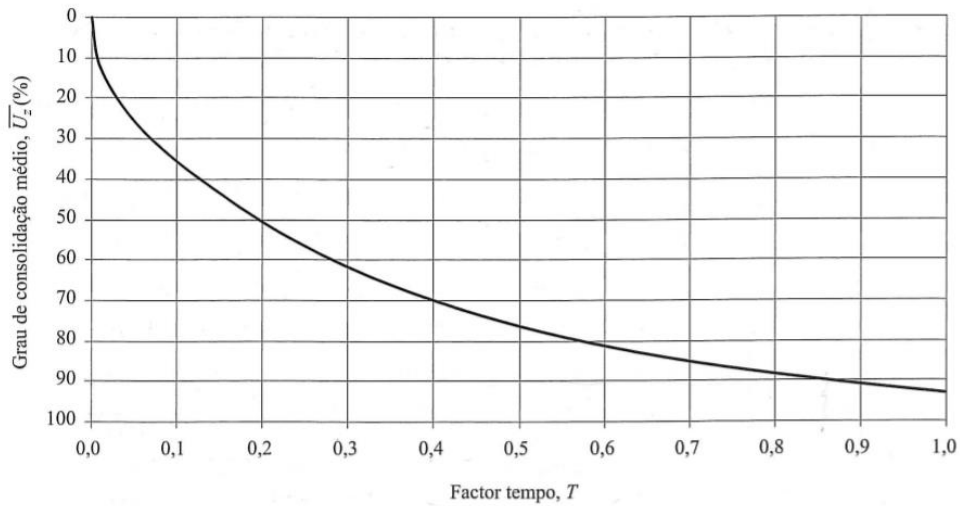


Figura 2 - Assentamento em qualquer instante. (Fernandes, 2011)

### 2.3.3. RELAÇÕES TENSÕES - DEFORMAÇÕES

Na Figura 3 é apresentado um gráfico, em escala semilogarítmica, obtido após a realização do ensaio edométrico (no capítulo 3 a mais detalhes do ensaio). Permite ver a relação da tensão efetiva vertical versus os índices de vazios presentes no solo. No gráfico, pode-se observar a compressibilidade do solo quando submetido a cargas axiais crescentes. (Gandaio, 2012)

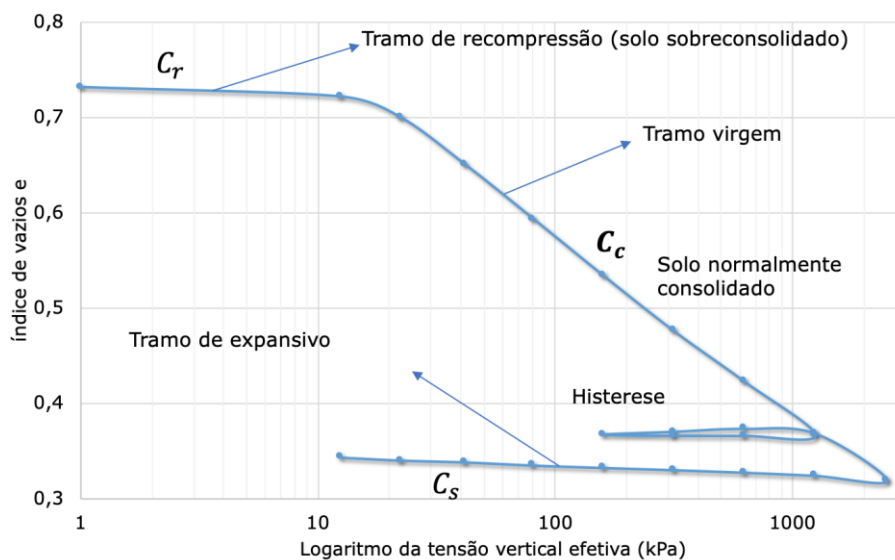


Figura 3 - Resultado da curva de ensaio edométrico. (Freitas, 2018)

Na imagem, é possível observar os tramos de recompressão (índice de recompressão,  $C_r$ ), tramo virgem (índice de compressibilidade,  $C_c$ ) e o tramo de descarga (índice de expansibilidade,  $C_s$ ). (Freitas, 2018)

Na parte inicial do diagrama, com menor declive, ocorre para tensões efetivas já experimentadas pelo solo, denomina-se tramo de recompressão em solos sobreconsolidados. (Freitas, 2018)

O tramo de maior inclinação corresponde à gama de tensões ainda não experimentadas pelo solo, denomina-se tramo virgem. Nesse tramo o solo comporta-se como normalmente consolidado. (Freitas, 2018)

Observa-se, que a transição do tramo de recompressão para o ponto inicial do tramo virgem ocorre quando a maior tensão efetiva submetida ao solo foi atingida, a essa tensão chama-se de tensão de pré-consolidação. (Fernandes, 2011)

Portanto, o estado de solo subconsolidado acontece quando o solo ainda se encontra em processo de consolidação, onde o seu estado de tensão ainda não atingiu toda a estrutura do esqueleto sólido do solo. (Freitas, 2018)

Pontos importantes a serem considerados tanto para solos arenosos ou argilosos são: a redução progressiva da compressibilidade com o aumento da tensão aplicada ao solo sofre um aumento da compacidade; quando há redução da carga vertical permanece irreversível parte da deformação vertical (deformação plástica); o aumento da compacidade conduz a organização do esqueleto sólido; a diferença entre solos argilosos e arenosos está na velocidade com que se processa a consolidação e a compressibilidade. (Fernandes, 2011)

#### **2.3.4. MÉTODOS PARA OBTENÇÃO DO COEFICIENTE DE CONSOLIDAÇÃO**

O coeficiente de consolidação vertical permite a estimativa do tempo associado à consolidação primária e pode ser obtido pelo método de Casagrande (logaritmo do tempo) e Taylor (raiz quadrada do tempo). (Freitas, 2018)

No ensaio edométrico, para cada estágio de carga, obtém-se a curva da deformada/assentamento do provete versus tempo. Com esses dados, é possível determinar o coeficiente de consolidação vertical. Referir que o coeficiente de consolidação vertical é determinado para cada estágio de carga separadamente e para a sua determinação podem ser usados os métodos já referidos. (Rodrigues, 2014)

### 2.3.4.1. MÉTODO DE CASAGRANDE

O método desenvolvido por Casagrande é também conhecido como “método do logaritmo do tempo” ( $\log t$ ). É baseado no formato da curva porcentagem de assentamento versus o fator tempo, em escala semilogarítmica. Essa representação realça o trecho de assentamento primário, quando plotados os dados de ensaio em função do tempo. (Netto, 2006)

Para obter-se o cálculo do coeficiente de consolidação pelo método de Casagrande, na Figura 4 representa-se a curva da altura do corpo de prova/provete versus o logaritmo do tempo, pelo processo de Casagrande é necessário seguir alguns procedimentos conforme descrito abaixo: (Serafim, 2017)

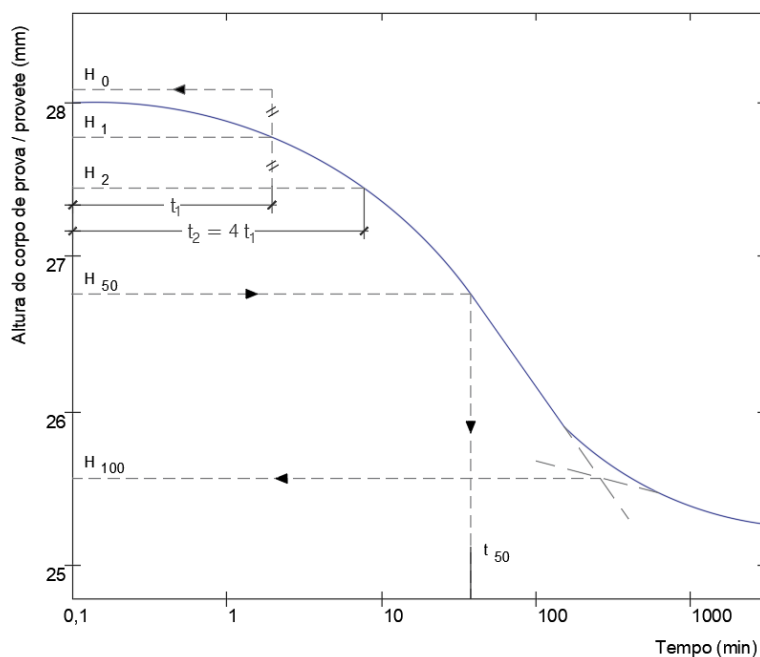


Figura 4 - Gráfico do Método de Casagrande. (Adaptado Serafim, 2017)

1 - Para cada incremento de carga escolhido, desenhar a curva de assentamento, marcando-se no eixo das ordenadas a altura do provete e no eixo das abscissas o tempo.

2 - Determinar o ponto correspondente a 100% do assentamento primário pela intersecção das retas tangentes aos ramos da curva que definem as compressões primária e secundária. Transportar o ponto encontrado para o eixo das ordenadas, obtendo-se a altura  $H_{100}$ .

3 - Para determinar o ponto correspondente a 0% do assentamento primário, selecionar duas alturas do provete,  $H_1$  e  $H_2$ , correspondentes respectivamente aos tempos  $t_1$  e  $t_2$ , cuja relação  $t_2/t_1$  seja igual a 4. A altura do provete, correspondente a 0% de assentamento primário, é calculado pela equação (01):

$$H_0 = H_1 + (H_1 - H_2) \quad (01)$$

Nota: Para que esse processo seja válido, a variação de altura, correspondente ao tempo  $t_2$ , deve ser maior do que  $\frac{1}{4}$ , mas menor do que  $\frac{1}{2}$ , da variação total de altura no estágio de pressão considerado.

4 - A altura do provete, correspondente a 50% do assentamento primário, é obtida pela equação (02):

$$H_{50} = \frac{H_0 + H_{100}}{2} \quad (02)$$

5 - O tempo  $t_{50}$ , correspondente a ocorrência de 50% do assentamento primário, é obtido tomando-se a abcissa do ponto da curva correspondente  $H_{50}$ .

6 - Calcular o coeficiente de consolidação pela equação (03):

$$c_v = \frac{0,197 \cdot (0,5 \cdot H_{50})^2}{t_{50}} \quad (03)$$

Nota: Onde  $c_v$  é o coeficiente de consolidação vertical, em  $\text{cm}^2/\text{s}$ ;  $H_{50}$  é a altura do provete correspondente a 50% do assentamento primário, obtida conforme item 4, em cm;  $t_{50}$  é o tempo correspondente a ocorrência de 50% do assentamento primário, obtido conforme item 5, em s.

#### **2.3.4.2. MÉTODO DE TAYLOR**

O método desenvolvido por Taylor, também conhecido como “método da raiz quadrada do tempo” ( $\sqrt{t}$ ), é um método que se baseia no formato da curva da porcentagem de assentamento versus a raiz quadrada do fator tempo. Essa representação realça o trecho

inicial da curva, que se torna aproximadamente linear e os dados do ensaio são plotados em função da raiz quadrada do tempo. (Netto, 2006)

Para se obter o coeficiente de consolidação vertical pelo método de Taylor, na Figura 5 está representada a curva de altura do provete, em função da raiz quadrada do tempo. Assim, pelo método de Taylor, é necessário seguir alguns procedimentos conforme descrito abaixo: (Serafim, 2017)

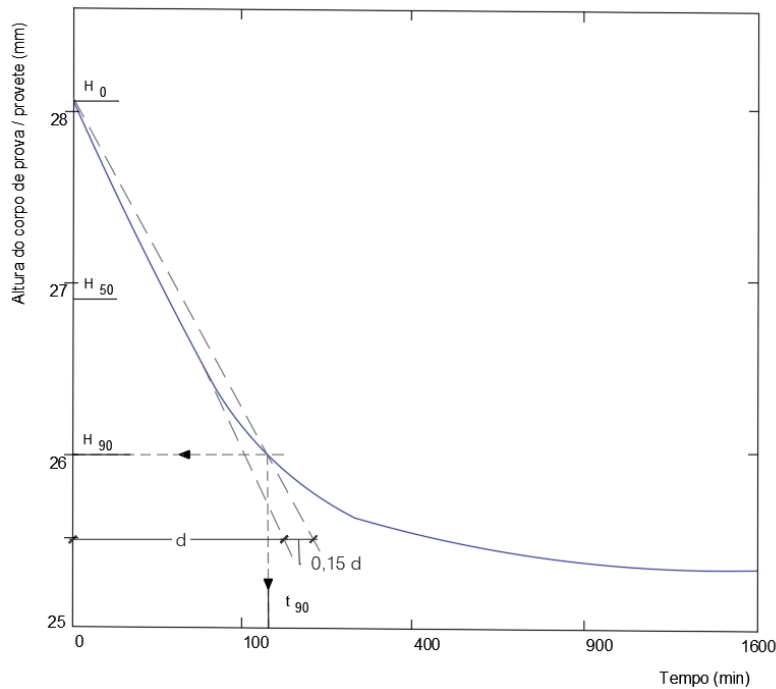


Figura 5 - Gráfico do Método de Taylor. (Adaptado Serafim, 2017)

1 - Para cada incremento de carga escolhido, desenha-se a curva de assentamento, marcando-se no eixo das ordenadas a altura do provete e no eixo das abcissas a raiz quadrada do tempo.

2 -Determinar o ponto correspondente a 0% do assentamento primário, prolongando a reta definida pelos pontos iniciais da curva de assentamento até o eixo das ordenadas.

3 - Traçar por esse ponto uma linha reta com coeficiente angular igual a 1,15 vezes o coeficiente angular da reta obtida em 2. A intersecção desta reta com a curva de assentamento define o ponto correspondente a 90% do assentamento primário, obtendo-se, dessa forma, os valores de  $t_{90}$  e  $H_{90}$ .

4 - A altura do provete, correspondente a 50% do assentamento primário, é obtida pela equação (04):

$$H_{50} = H_{50} - \frac{5}{9} \cdot (H_0 + H_{90}) \quad (04)$$

5 - Calcular o coeficiente de consolidação, pela equação (05):

$$c_v = \frac{0,848 \cdot (0,5 \cdot H_{50})^2}{t_{90}} \quad (05)$$

Nota: Onde  $c_v$  é o coeficiente de consolidação, em  $\text{cm}^2/\text{s}$ ;  $H_{50}$  é a altura do provete correspondente a 50% do assentamento primário, obtida conforme item 4, em cm;  $t_{90}$  é o tempo correspondente a ocorrência de 90% do assentamento primário, obtido conforme item 3, em s.

## 2.4. ACELERAÇÃO DA CONSOLIDAÇÃO

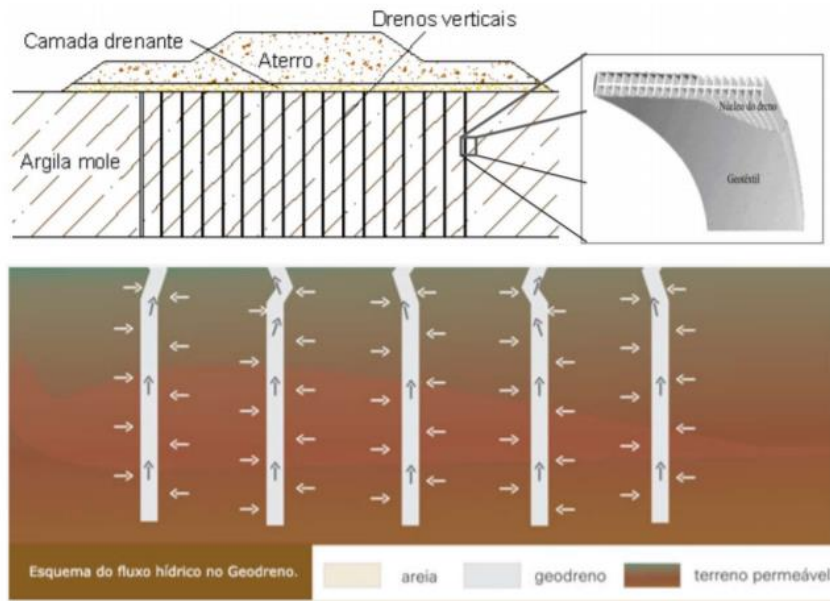
Numa obra onde ocorrem assentamentos não previstos podem ser altamente inconvenientes, por isso, utilizar os processos que contribuam para acelerar a consolidação, passa a ser importante. (Fernandes, 2011)

O processo de aceleração da consolidação consiste em reduzir os índices de vazios e o teor em água, tornando a estrutura do solo mais resistente, portanto aumenta a resistência ao corte e conseqüentemente o solo pode suportar carregamentos superiores em relação ao seu estado natural. (Fernandes, 2011)

Os métodos para acelerar a consolidação podem consistir na construção de drenos verticais ou utilização de pré-cargas. (Das, 2007)

A disposição dos drenos verticais pode ser disposta como ilustrado nas seguintes figuras, Figura 6 e Figura 7.

## Geodrenos



### Vantagens:

- São artificiais ou sintéticos;
- Pré - fabricados;
- Constituídos por um núcleo PEAD;
- Revestidos por um filtro geotêxtil;
- São cravados no solo;
- Tem objetivo em deixar o solo mais permeável;
- Aumenta a velocidade da consolidação;
- São resistentes porém também são maleáveis;
- Um método de baixo custo;
- Rápida instalação;
- Controle de qualidade;
- Sustentável;

### Desvantagens:

- Não suportam sobrecargas;
- O solo pode sofrer deslocamentos na zona envolvente da implantação do dreno.
- A pressão que o terreno exerce sobre o dreno pode levar a que este se deforme, reduzindo desta forma a sua eficiência;
- O resultado da consolidação pode conduzir a assentamentos elevados que dobrem o geodreno;
- Degradação do dreno, ao longo do tempo, causada pela atividade física e química em profundidade, podem conduzir à diminuição do caudal de escoamento.

Figura 6 - Drenos verticais. (Adaptado Cerqueira, 2016)

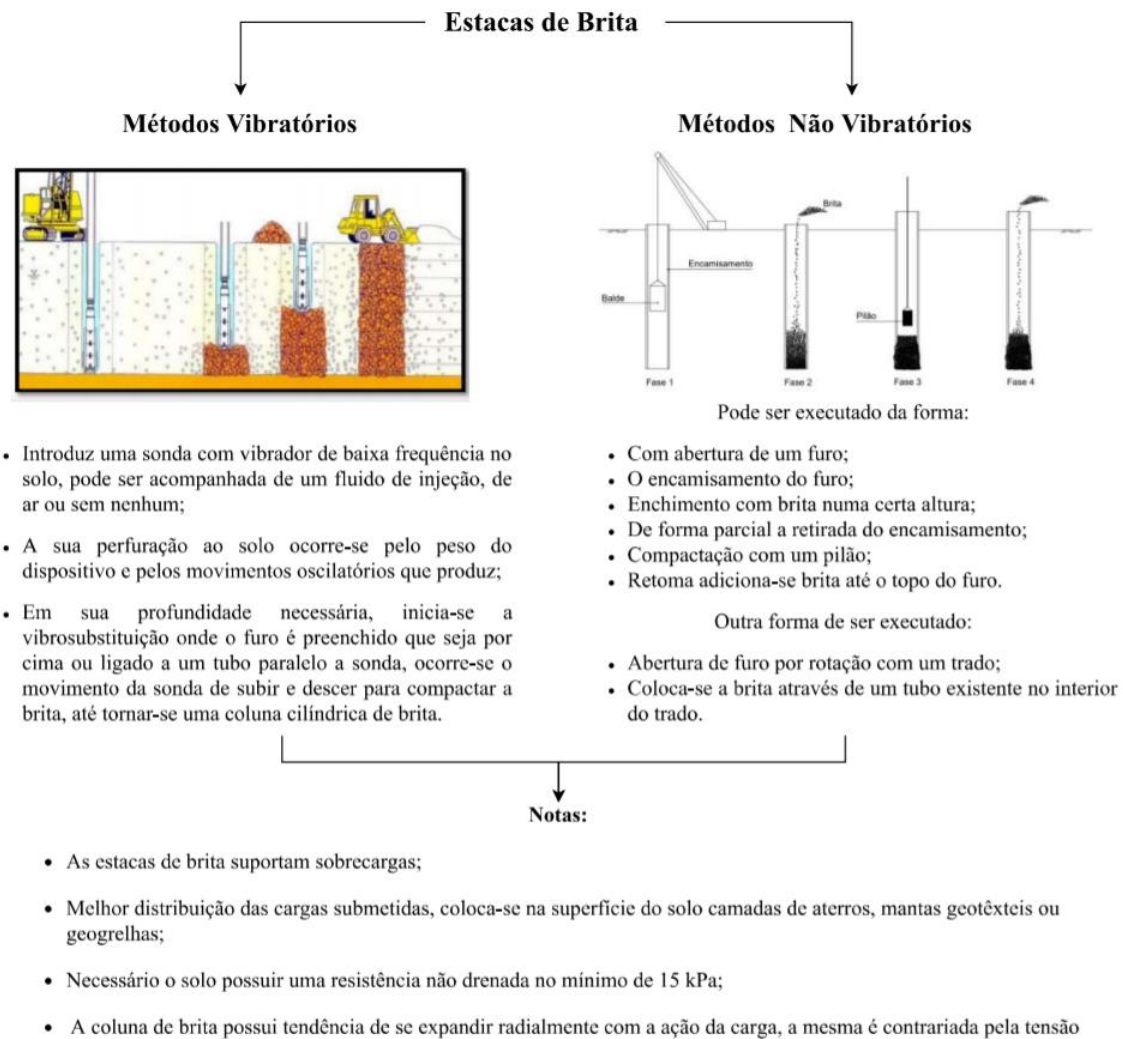


Figura 7 - Estacas de brita. (Adaptado Cerqueira, 2016)

## 2.5. ENSAIO EDOMÉTRICO

Além de ser conhecido como ensaio edométrico, também é nomeado como ensaio de adensamento do solo, ensaio de compressão confinada. Tem por objetivo obter os parâmetros de compressibilidade e o coeficiente de consolidação do solo. (Marangon, 2018)

Usualmente, esse ensaio é utilizado em solos de baixa permeabilidade mais precisamente em solos argilosos, pois é nesses solos que o tempo necessário para se processar a totalidade do assentamento é maior, conhecendo o assentamento percebe-se como o solo se comporta quando está submetido a uma carga assim, podem-se obter soluções a ser utilizadas nas fundações das construções para minimizar os efeitos futuros da consolidação. (Palmeira, 2020)

Esses ensaios são realizados com células edométricas que são posicionadas sobre o equipamento edométrico. Coloca-se água a fim de se representar uma amostra saturada, também possuem sistema de drenagem conectado na célula. Na parte superior, a presença de uma placa rígida que favorece para que a carga aplicada seja uniformemente distribuída em toda a amostra. As células podem ser de vários modelos de diferentes tamanhos e diâmetros. As amostras confinadas são impedidas de se deformar lateralmente. (Palmeira, 2020)

Os ensaios não sofreram grandes alterações ao longo do tempo, quer nos procedimentos experimentais, quer nos métodos de análise, os quais se encontram padronizados na grande maioria dos países. A metodologia bem definida na interpretação de resultados, bem como a simplicidade de execução torna o ensaio ainda muito utilizado. (Gandaio, 2012)

A Figura 8 ilustra um esquema simplificado do ensaio edométrico e a célula convencional (no capítulo 3 a mais detalhes da célula):

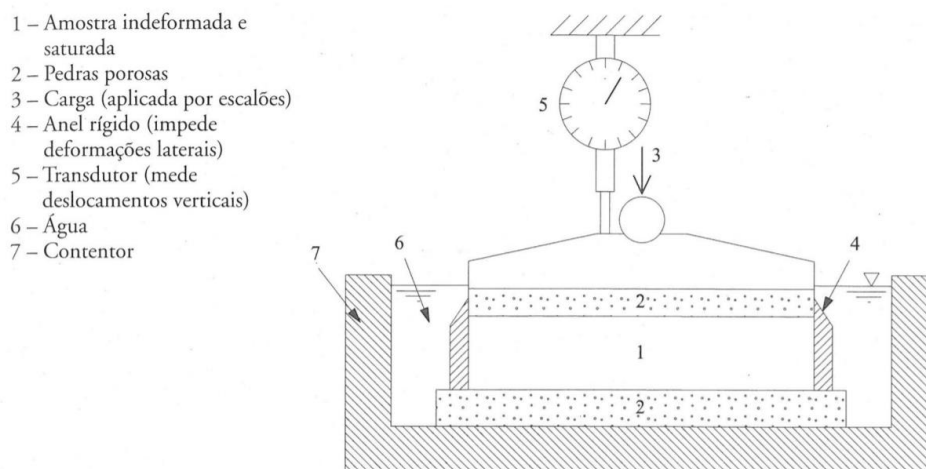


Figura 8 - Ensaio edométrico. (Fernandes, 2011)

## 2.6. CÉLULA DE ROWE

O ensaio edométrico tem por objetivo analisar amostras de solos em confinamento lateral, com intuito de observar o comportamento de consolidação ou assentamento, portanto para obter esse resultado pode usar a célula convencional ou a célula de Rowe. Essa última célula tem por função carregar a amostra com uma tensão constante, sendo possível a drenagem da amostra pela parte superior ou inferior da célula,

o que permite a acoplagem de um transdutor de pressão intersticial e obtém-se a leitura do assentamento em função do tempo e carga. (Maranhão, 2008)

A primeira célula de consolidação foi utilizada em 1910 por Fontard, a célula consistia num recipiente em metal com uma base perfurada onde era colocado um provete com 5 cm de espessura e 35,5 cm de diâmetro, que era carregado através de um pistão. (Gandaio, 2012)

### 2.6.1. DESCRIÇÃO DA CÉLULA E ACESSÓRIOS

A Figura 9 representa uma célula de Rowe, os ensaios realizados na máquina edométrica com a utilização da célula Rowe, podem ser classificados quanto ao tipo de amostra e ao seu processo de consolidação, são definidos conforme (Mendes, 2016):

- Amostras intactas ou indeformadas, este processo é transferido através de um amostrador para o interior da célula;
- Amostras reconstituídas ou indeformadas, posteriormente transferidas para o interior da célula;
- Amostras compactadas diretamente no interior da célula, ocorre-se uma compactação estática ou dinâmica.



Figura 9 - Célula de Rowe. (Freitas, 2018)

A célula Rowe pode ter alguns modelos comerciais diferentes. O que diferencia é o tamanho do diâmetro encontrados de 75 mm, 150 mm, 250 mm e 500 mm (essa última é utilizada apenas para pesquisa de investigação). Esse tipo de célula é dividida em três componentes o topo, o corpo e a base, feita de alumínio ou vidro para impedir de futuras corrosões. (Mendes, 2016)

As principais funções dos componentes e acessórios da célula podem ser vistas conforme as Figura 10 e Figura 11:

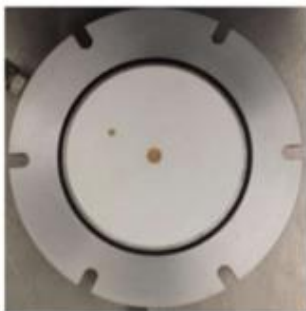
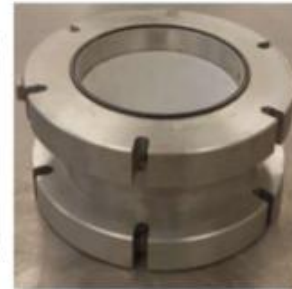


### TOPO

Interiormente equipado com uma membrana flexível (borracha natural ou sintética), de forma a passar a tensão uniforme a amostra. A membrana pode ser ligada a um sensor LVDT para leituras de deslocamentos e a drenagem da água realizada pelo topo por um sistema hidráulico, por uma válvula no topo permite a entrada de ar ou água, para evitar a presença de ar na membrana, através de uma purga pelo qual o ar pode ser retirado.

### CORPO

As peças são flagelados em cada uma das extremidades, para obter-se uma melhor conexão entre a base e o topo e garantir a sustentação da membrana. Na parte superior possui um circuito hidráulico de saída que conduz a válvula do anel drenante. Este têm como objetivo em abrir, quando é necessário a realização de ensaio de drenagem radial excêntrica.



### BASE

Nesta parte existe um sistema que permite a boa vedação entre a base e o corpo da célula. No centro da base possui um pequena reentrância circular, onde permite que a pedra porosa seja encastrada, é neste ponto que ocorre a medição da pressão intersticial da amostra na etapa do ensaio de consolidação. Para obter a leitura de pressão, é preciso conectar em algumas válvulas o sensor de pressão e mantém ela fechada, e quando aberta permite a drenagem da amostra através da base, por um circuito hidráulico. (Em células de diâmetro maior possui um ponto de pressão na base).

Figura 10 - Componentes da célula de Rowe. (Adaptado Mendes, 2016)



### **PLACA RÍGIDA CIRCULAR**

Utilize-se este acessório quando necessária efetuar ensaios a deformação uniforme, coloca-se abaixo da membrana do topo da célula. Esta placa possui um orifício circular central, com função de drenagem evita-se que o ar fique preso junto a amostra.

### **DISCO POROSO DE BRONZE**

Utilize-se este acessório quando necessária efetuar ensaios de consolidação a deformação uniforme, coloca-se abaixo da placa rígida circular. Tem por função em recolher a água drenada verticalmente pelo topo durante o ensaio da amostra.



### **DISCO POROSO DE VYON (espessura de 3 mm)**

Utilize-se este disco quando pretende-se realizar ensaio a tensão uniforme, tem por objetivo garantir flexibilidade e uniformidade, ao carregamento de cargas submetidas ao topo da célula na amostra.



### **FOLHAS POROSAS DE VYON (espessura de 1,5 mm)**

Utilize-se este acessório das folhas porosas, em ensaios com drenagem periférica e são posicionadas antes de colocar a amostra no interior da célula Rowe.



Figura 11 - Acessórios da célula de Rowe. (Adaptado Mendes, 2016)

Quanto à utilização da célula de Rowe para ensaios edométricos, podem ser classificadas algumas formas das amostras a serem ensaiadas, como ensaios convencionais e ensaios especiais. Os ensaios convencionais tem por objetivo aplicação de cargas sobre as amostras, a possibilidade de definir as condições de drenagem e de carregamento. As combinações na célula para a realização dos ensaios podem ser: (Gandaio, 2012)

- Ensaio com tensão uniforme e drenagem vertical;
- Ensaio de deformação uniforme e drenagem vertical;
- Ensaio com tensão uniforme e drenagem vertical dupla sem medição da pressão intersticial;
- Ensaio de deformação uniforme com drenagem vertical dupla sem medição da pressão intersticial;
- Ensaio com tensão uniforme e drenagem radial excêntrica;
- Ensaio de deformação uniforme com drenagem radial excêntrica;
- Ensaio com tensão uniforme e drenagem radial concêntrica;
- Ensaio de deformação uniforme com drenagem radial concêntrica.

Os ensaios especiais objetivam diminuir o tempo em relação aos ensaios convencionais, pois as cargas são aplicadas de diferentes formas de procedimentos, assim, pode-se obter resultados da consolidação de forma mais rápida e eficaz, e para a realização é necessária a monitorização da pressão intersticial da base da amostra e utilizar uma célula de maior diâmetro, alguns ensaios são: (Gandaio, 2012)

- Ensaio de consolidação com taxa de deformação constante (CRS);
- Ensaio de consolidação com gradiente de pressão intersticial constante (CG);
- Ensaio de consolidação com razão a pressão intersticial /tensão aplicada, constante (CPR);
- Ensaio de consolidação com fluxo restringido (RFC);
- Ensaio de consolidação com velocidade constante de carregamento (CRL).

## 2.6.2. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA CÉLULA DE ROWE

Algumas vantagens e desvantagens da utilização da célula de Rowe para a realização de ensaio edométricos, são descritas abaixo: (Gandaio, 2012)

Vantagens:

- Possibilidade de realizar ensaio em amostras de maior dimensão;
- Possibilidade de controlar as aplicações de cargas e descargas hidráulica;
- Instalado o sistema de carga por alavanca, torna o ensaio com menor efeito da vibração que possa ocorrer;
- Possibilidade em controlar as condições de drenagem da amostra, através do equilíbrio dos carregamentos de cargas;
- Pode-se deixar a amostra saturada durante o ensaio adicionando as cargas ao solo, com objetivo em simular uma condição real de solo com as mesmas características em campo;
- A implementação de processo automático de dados, podem ser medidos a qualquer momento e obter a leitura de assentamentos, pressão intersticial, volume de água eliminado da amostra durante o ensaio;
- Baixo índice de erros com a obtenção das leituras de assentamentos, provocados pelas deformações submetidos os sistemas de carga.

Desvantagens:

- Podem ocorrer erros durante a leitura da variação do volume, da possibilidade em encontrar água ou ar retidos entre a parte da célula e a membrana, assim, expelidos durante o processo de consolidação.
- A força pode sofrer alteração de intensidade aplicada pela membrana e força presente na amostra, uma discrepância de 15% a 20%, na precisão da calibração da membrana antes do ensaio.

## **2.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

No presente capítulo, apresentaram-se pesquisas bibliográficas que contribuíram para todo o estudo e desenvolvimento desse trabalho. Apresentaram-se todos os conhecimentos e parâmetros necessários para compreender o comportamento de um solo argiloso, e outros solos, e a funcionalidade no ensaio edométrico.

O ensaio edométrico é um ensaio útil para obter os parâmetros de compressibilidade durante a consolidação de solos argilosos. Existem diferentes métodos para obtenção do coeficiente de consolidação vertical (um dos parâmetros a obter após a realização do ensaio), o método de Casagrande (método do logaritmo do tempo) e método de Taylor (método da raiz quadrada do tempo). Referiu-se às formas mais usuais de aceleração da consolidação no intuito de prevenir problemas causados pelos assentamentos ao longo do tempo.

Dessa forma, realizou-se uma pequena introdução de todo o conteúdo teórico útil para o desenvolvimento da parte prática desse trabalho. Nos capítulos seguintes serão apresentados os procedimentos necessários para a obtenção dos parâmetros de compressibilidade do solo com o ensaio edométrico.

## CAPÍTULO 3

### 3. DESCRIÇÃO E EXECUÇÃO DO ENSAIO EDOMÉTRICO

#### 3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O ensaio de consolidação edométrico, foi proposto por Terzaghi, tendo sido padronizado na década de 40. Esse ensaio consiste na aplicação de tensões crescentes a um provete confinado lateralmente e sujeito a uma carga axial, de forma a avaliar a variação de assentamentos no tempo e o assentamento total. Saturam-se os provetes para que se simulem as piores condições a que se pode encontrar submetido. (Gandaio, 2012)

Esse ensaio tem como objetivo determinar a compressibilidade e deformação volumétricas de um solo após a aplicação de um carregamento, possibilitando avaliar as propriedades mecânicas dos solos, assim, obtém-se o valor do coeficiente de consolidação vertical, o que contribui para realização do dimensionamento das fundações de uma obra. (Freitas, 2018)

#### 3.2. DEFINIÇÃO

O fundamento do ensaio é baseado no modelo mecânico de Terzaghi, pelo sistema idealizado por Karl von Terzaghi. Representado por um reservatório cilíndrico de paredes rígidas com presença de um disco e um orifício pequeno no recipiente. (Fernandes, 2011)

Na Figura 12 abaixo está representando a analogia realizada por Terzaghi:

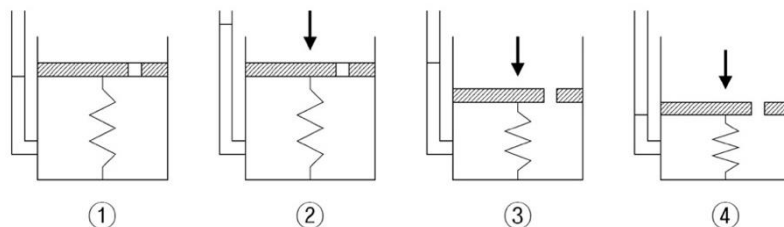


Figura 12 - Modelo Terzaghi. (Fernandes, 2011)

De acordo com Terzaghi como descrito (Fernandes, 2011) o modelo é dividido em três partes constituído pelos componentes, tensões ou forças e deslocamentos para representação dos ideais de pensamento:

- **Componentes:** composto pela mola, água, disco, objeto e dimensão do orifício.
- **Tensões e Forças:** força da mola, pressão da água, sobrepressão da água, peso do disco e peso do objeto.
- **Deslocamentos:** altura que o disco desceu até ao instante no final do processo.

A explicação e comparação do modelo analógico de Terzaghi versus o solo confinado num carregamento é descrita conforme:

- **Componentes:**
  1. Mola: tem a representação do esqueleto sólido do solo confinado;
  2. Água: corresponde a água presente dos poros do solo;
  3. Disco: retrata os estratos sobrejacentes ao estrato de argila;
  4. Objeto: demonstra a obra construída à superfície do terreno;
  5. Dimensão do orifício: característica da permeabilidade da argila.
- **Tensão ou Forças:**
  1. Força na mola: descreve a tensão efetiva;
  2. Pressão na água: representa a pressão nos poros e pressão neutra;
  3. Sobrepressão na água: define o excesso da pressão neutra;
  4. Peso do disco: designa tensão efetiva de repouso;
  5. Peso do objeto: indica a sobrecarga aplicada a superfície.
- **Deslocamentos:**
  1. Altura que o disco desceu até o instante: especifica o assentamento por consolidação no exato tempo;
  2. Altura que o disco desceu no final do processo: detalha o assentamento por consolidação no tempo final.

Essa descrição está baseada no funcionamento em que o cilindro de paredes rígidas é cheio de água com uma mola encontrada no interior do recipiente estando o sistema em equilíbrio, representando o solo saturado. Após a aplicação da força sobre o disco, obtém-se como resultado um carregamento sobre a mola e a água. Nesse primeiro instante o que suporta a carga é a água sendo considerada incompressível. (Das, 2007)

Como a dimensão do orifício presente no recipiente representa a permeabilidade, faz-se com que à medida que o tempo passa, haja drenagem da água para o exterior do sistema, devido ao excesso de pressão de água obtido pela força vertical adicional aplicada. Ao longo do tempo, há então diminuição do excesso de pressão de água devido à drenagem/expulsão de água, e conseqüentemente aumento da força da mola. Dando-se o assentamento do solo. (Das, 2007)

Após a expulsão de toda água do recipiente, chega ao fim do experimento. Nesse momento, o sistema volta ao equilíbrio sem excesso de pressão da água, fica a mola a suportar toda a pressão. Chegando ao fim do assentamento. (Das, 2007)

Com a analogia de Terzaghi, é também semelhante ao modo de funcionamento do ensaio edométrico, esse ensaio permitir a obtenção dos parâmetros de um solo lateralmente confinado. (Das, 2007)

### **3.3. EQUIPAMENTO DE ENSAIO**

#### **3.3.1. EQUIPAMENTO DE ENSAIO EDMÉTRICO**

O equipamento do Laboratório de Geotecnia do Instituto Politécnico de Bragança foi fabricado a partir da fundição de liga de alumínio, possui uma alavanca/viga com as respectivas taxas de cargas 9:1; 10:1 e 11:1 tendo em seu conjunto um contrapeso ajustável. É acompanhado por uma haste que segura os pesos e com o acoplamento que conecta o transdutor, ver Figura 13, este pode suportar uma carga até de 1.870 kg para uma taxa de carga de 11:1. (Matest, 2020)

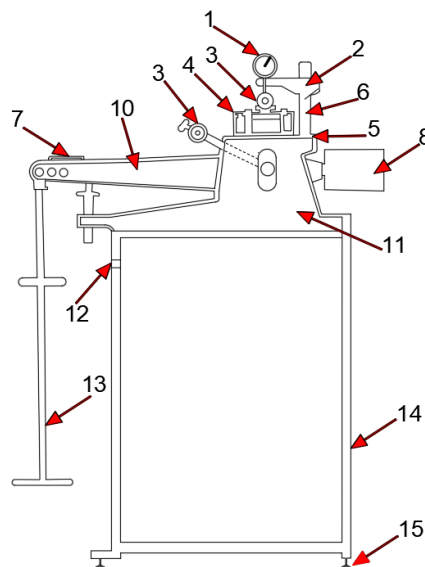
Segundo a norma que versa sobre o assentamento do solo, a máquina edométrica é usada para aplicar as cargas verticais na amostra de solo em estudo. Essa aplicação de carga ocorre por meio de um macaco, utilizando um sistema de alavanca com apoio de um pendural onde são colocados os contrapesos, aplicando uma carga vertical na amostra de solo. (DNER-IE 005, 1994)



Figura 13 - Equipamento fabricado para o ensaio edométrico pela empresa Matest. (Matest, 2020)

- **Detalhes do equipamento:**

A figura 14 descreve as diferentes partes da equipamento de ensaio: (Matest, 1990)



- |                              |                                 |
|------------------------------|---------------------------------|
| 1. Defletômetro;             | 6. Pivô do Defletômetro;        |
| 2. Suporte do Defletômetro;  | 7. Nível;                       |
| 3. Alavanca do Quadrilátero; | 8. Haste de Peso;               |
| 4. Caixa Edométrica;         | 10. Nível de Cargas 9:1; 10:1 e |
| 5. Tampa de Base;            | 11:1;                           |

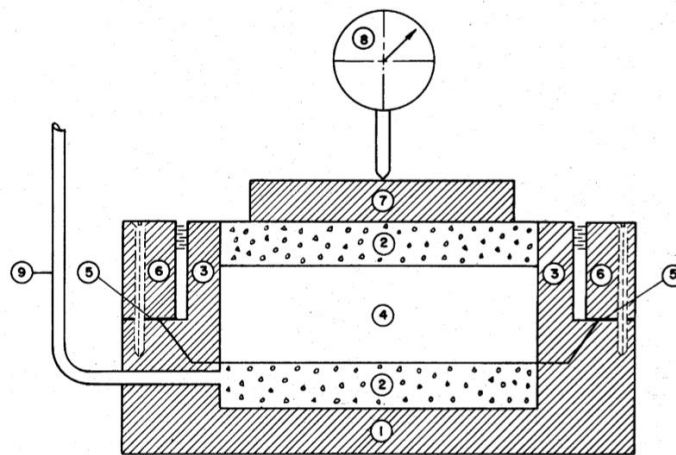
- |                      |                         |
|----------------------|-------------------------|
| 11. Bancada;         | 14. Suporte;            |
| 12. Parafuso;        | 15. Regulador de Nível. |
| 13. Haste de Tensão; |                         |

Figura 14 - Peças que compõem o equipamento edométrico. (Adaptado Matest, 1990)

### 3.3.2. CÉLULAS EDOMÉTRICA

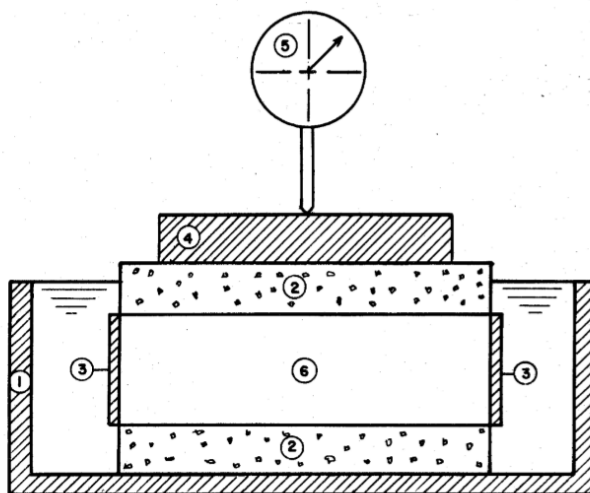
As Figura 15 e Figura 16 descrevem os tipos de células que são utilizadas no ensaio edométrico, conforme a norma de adensamento ou consolidação do solo. (DNER-IE 005, 1994)

Trata-se de um dispositivo apropriado para conter a amostra de solo e que deve proporcionar meios para a aplicação de cargas verticais, a medida da variação da altura da amostra de solo e sua eventual submersão. Consiste em uma base, um anel para conter a amostra de solo, pedras porosas e placa de transmissão de cargas. O anel pode ser do tipo fixo (não se mover em relação a base) ou flutuante (pode mover em relação a base). (DNER-IE 005, 1994)



- |                      |                                    |
|----------------------|------------------------------------|
| 1. Base;             | 6. Anel Exterior;                  |
| 2. Pedra Porosa;     | 7. Placa de Transmissão de Cargas; |
| 3. Anel Fixo;        | 8. Defletômetro;                   |
| 4. Amostra de Solo;  | 9. Comunicação para Execução do    |
| 5. Anel de Borracha; | Ensaio de Permeabilidade.          |

Figura 15 - Célula com anel fixo da máquina de ensaio edométrico. (DNER-IE 005, 1994)



- |                    |                                    |
|--------------------|------------------------------------|
| 1. Célula;         | 4. Placa de Transmissão de Cargas; |
| 2. Pedra Porosa;   | 5. Defletômetro;                   |
| 3. Anel Flutuante; | 6. Amostra de Solo                 |

Figura 16 - Célula com anel flutuante da máquina de ensaio edométrico. (DNER-IE 005, 1994)

Segundo a norma de consolidação do solo, recomenda-se que não seja usada a célula com anel flutuante para solos mais saturados. A célula com anel fixo, apresenta a possibilidade de se realizar o ensaio de permeabilidade juntamente ao ensaio edométrico. (DNER-IE 005, 1994)

Quanto à dimensão do anel, fixo ou flutuante, esse deve possuir as mesmas características da altura e diâmetro do provete, sendo não recomendado diâmetros menores que 6,35 cm. Eventualmente, pode ocorrer um rebaixamento por compressão da face externa das amostras, contudo, se o provete apresentar menor diâmetro pode ocorrer o efeito de rebaixamento por compressão ou deformação da amostra. (DNER-IE 005, 1994)

### 3.3.3. PEDRAS POROSAS

As pedras porosas apresentam alta permeabilidade sem prejudicar a drenagem da amostra. As pedras são produzidas com material que não reage quimicamente entre o solo, água e os poros nas pedras. Possuem poros relativamente pequenos, o diâmetro médio dos poros impede a entrada e passagem do solo. (Mendes, 2016)

Devem estar limpas, uniformes, sem fendas para evitar quebras. Devem ser espessas, 7 mm; e, quando colocadas nas células, precisam estar protegidas por um disco metálico na parte superior da amostra. (Mendes, 2016)

A pedra porosa superior deve ser menor que 0,2 mm a 0,5 mm do diâmetro interno do anel. No uso do anel flutuante, a pedra da base deve ter o mesmo diâmetro da pedra do topo, e apresentar pedras biseladas de maior diâmetro em contato com o solo. (Mendes, 2016)

A Figura 17 seguinte mostra diferentes tipos de pedra porosa.



Figura 17 - Pedra porosa. (Contenco, 2020)

### **3.3.4. PAPEL FILTRO**

O papel filtro tem por objetivo proteger as pedras porosas utilizadas no ensaio. Irá impedir que o solo, presente na amostra, não infiltre nos poros da pedra.

A água do solo é transferida para o material poroso por capilaridade, até que o equilíbrio hidráulico seja alcançado em um determinado intervalo de tempo. No estado de equilíbrio, as sucções no solo e no material poroso igualam-se, apesar de suas respectivas umidades serem diferentes. (Chrystello, 2017)

O papel filtro deve ser colocado entre a pedra e a amostra do solo. Esse papel filtro (Figura 18), preferencialmente, deve ser produzido com material resistente, contribuindo para a limpeza da pedra porosa.

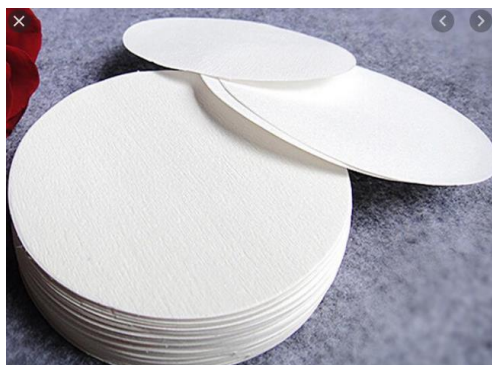


Figura 18 - Papel filtro. (Contenco, 2020)

### 3.3.5. EXTRATOR / PRENSA E AMOSTRADOR

Os equipamentos (Figura 19), que permitem retirar as amostras indeformadas do campo, podem ser mostrador tipo tubo metálico de parede fina. Com a amostra já recolhida, a sua extração é realizada com ajuda do extrator ou por uma prensa manual, ver figuras seguintes. Para obterem-se amostras indeformadas podem usar-se aparelhos chamados amostradores: tubos de aço de parede fina, que são cravados cuidadosamente no solo de modo a englobar uma amostra cilíndrica. (Fernandes, 2011)



Figura 19 - Extrator/prensa e amostrador. (Laboratório ESTIG/IPB; Freitas, 2018)

### 3.3.6. DEFLETÔMETRO / EXTENSÔMETRO

O defletômetro (Figura 20), também conhecido como extensômetro, é utilizado para medir as deformações/deslocamentos que ocorrem durante o ensaio. Em alguns equipamentos utiliza-se extensômetro mecânico e os mais modernos automáticos são substituídos por um software, sendo ligados a sensores (LVDT - Linear Variable Transformer) e uma placa de aquisição, resultando em planilhas de registro com os dados obtidos (no capítulo 4 mais detalhes desses sensores).

O LVDT aplicado é apropriado para ser usado no sistema mecânico existente, a fim de executar os testes necessários. O sensor usado incorporou o condicionamento de sinal necessário para obter uma saída diretamente proporcional ao deslocamento linear. (Paula, 2017)

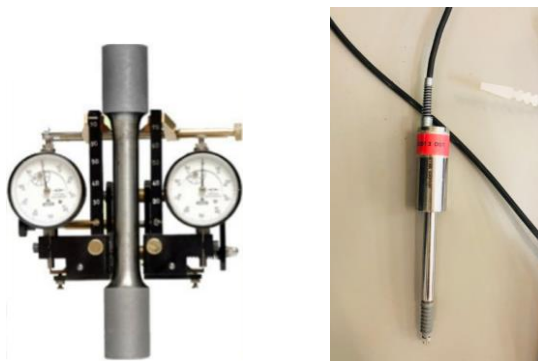


Figura 20 - Defletômetro e LVDT. (Solotest; Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

### **3.3.7. OUTROS EQUIPAMENTOS**

Entre diversos outros equipamentos no auxílio da preparação da amostra como:

- Paquímetro;
- Aparelho para modelar e cortar a amostra;
- Arco de serra provido de arame fino;
- Régua, espátula e cronômetro;

## **3.4. AMOSTRAGEM**

### **3.4.1. TRABALHO DE CAMPO**

Nesse subcapítulo serão expostos os métodos de investigação geológica para retiradas de amostras indeformadas de solos. Quanto aos métodos de amostragem indeformada onde apenas apresentam alterações do estado de tensão, não sofrem distorções nem variações de volume e de teor de humidade, conservam a estrutura do solo essencialmente inalterada. Para obter este tipo de amostra de solo, pode ser por meio do acesso direto ou acesso indireto. Nos tópicos a seguir são abordados os principais acessos e execuções utilizados. (Fernandes, 2016)

### 3.4.1.1. ACESSO DIRETO

Os processos de investigação das camadas de solo por meio direto são aqueles que permitem o acesso direto ao material investigado, por meio de poços, valas e galerias, é possível cortar/talhar blocos de dimensões relativamente grandes, que são levados para o laboratório cuidadosamente acondicionados e protegidos de modo a evitar vibrações, choques e perda de umidade. As amostras são posteriormente extraídas dos blocos no laboratório por técnicas particularmente cuidadas, assim, conseguem-se amostras com melhor qualidade em condições a serem analisadas. (Fernandes, 2016)

As vantagens desse tipo de método direto é a possibilidade de inspeção visual do local escolhido, a facilidade em coletar amostras indeformadas em quantidade considerável, e permite obter amostras de maiores dimensões. (Fernandes, 2016)

Essa escavação de poços e valas torna-se particularmente rápida quando é possível o acesso ao local de uma máquina escavadora, dependendo, nessas circunstâncias, da lança da máquina e da profundidade a atingir, ver Figura 21. (Fernandes, 2016)



Figura 21 - Coleta de amostras indeformadas por acesso direto. (Fernandes, 2016)

### 3.4.1.2. ACESSO INDIRETO

Os acessos indiretos são processos de investigação que não permitem o acesso direto da amostra indeformada no local investigado, de forma geral, nesse método não há contato direto com solo, assim, não há possibilidade da inspeção visual onde a amostra será retirada. Esse acesso é realizado através de furos de sondagem por meio do uso de

amostradores que são descidos até ao fundo do furo e em seguida precisam penetrar no terreno de modo a envolver e recolher uma parte da amostra de solo que é levada até a superfície do local. (Fernandes, 2016)

Para obter as amostras em boas condições em furos de sondagem, é preciso que a cravação do amostrador seja lenta e contínua, as paredes do invólucro devem ser tão finas quanto possível, os diâmetros dos tubos amostradores devem ser tão grandes quanto possível, o fundo do furo deve ser previamente limpo e os operadores devem ser experientes e competentes. (Fernandes, 2016)

As vantagens desse tipo de acesso por furos de sondagens é que é possível definir com precisão as características do solo ao longo de todo o percurso da perfuração sobre as variações das estruturas geológicas da região onde a amostra será coletada, exemplo da sondagem na Figura 22. (Brito; Gomes, 2018)

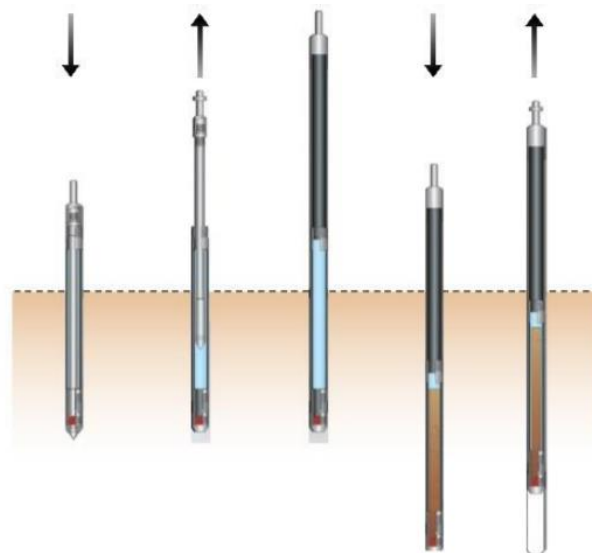


Figura 22 - Coleta de amostras indeformadas por acesso indireto. (Rlyls, 2019)

### **3.4.2. EXTRAÇÃO E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS**

As amostras do solo coletadas em campo devem ser retiradas dos amostradores para realização do ensaio edométrico. A extração do solo, apresentada no subcapítulo equipamento de ensaio, é realizada com o extrator ou a prensa manual, para melhor facilitar a obtenção da amostra sem causar perturbações e danos elevados.

Para a realização do ensaio edométrico, dois tipos de amostras podem ser utilizados, amostras reconstituídas ou amostras indeformadas, sendo que a preparação ocorre de formas e etapas diferentes. (Lce; Para, 2016)

### 3.4.2.1. AMOSTRAS RECONSTITUÍDAS/DEFORMADAS

Nas amostras reconstituídas ou deformadas, a coleta dessas amostras é mais fácil e rápida que a de amostras indeformadas, porém, elas não permitem o cálculo de parâmetros físicos dessimétricos e volumétricos, uma vez que esses envolvem o conhecimento do volume original da amostra. (Lce; Para, 2016)

O primeiro passo para este tipo de amostras é determinar a quantidade necessária de água e de solo, essa quantidade é semelhante aos teores de água e de solo presente no solo in situ/solo em campo. O objetivo em fazer análises em amostras reconstituídas é que desempenham um comportamento semelhante de uma amostra indeformada. (Mendes, 2016)

Dessa forma, a amostra reconstituída dispõe das mesmas características de um solo em campo, fazendo com que os ensaio edométrico seja realizado de forma que o solo estivesse em situação real de carregamento das tensões e com condições naturais. Com isso, obtendo-se uma melhor análise do resultado da consolidação e desempenho do material (Figura 23).



Figura 23 - Amostra reconstituída / deformada. (Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

- **Método da compactação da amostra reconstituída:**

O procedimento adotado para a realização dos ensaios da compactação das amostras reconstituídas de Harvard, o MCH-ISEC/2014 baseia-se em diversas teorias,

tais como o procedimento proposto por Wilson (1970), também pelo procedimento proposto pelo State Nevada Department of Transportation: Material Division (2008) e por último pelo procedimento de compactação de Proctor segundo sugere Lopes (2014). (Silva, 2016)

Na Tabela 3 é demonstrado o resumo do procedimento da compactação:

Tabela 3 - Tipos de compactação. (Silva, 2016)

		Tipo de compactação	
		Leve (20lb)	Pesada (40lb)
Molde	Diâmetro interno	33,34mm	33,34mm
	Altura	71,5mm	71,5mm
Nº de camadas		4	5
Nº de pressões/tempo		3 ciclos de 10pressões/15segundo	3 ciclos de 10pressões/15segundo

Para ligar as camadas, é necessário aumentar o atrito da superfície nos intervalos das camadas, pode-se realizar arranhaduras com uma escova de cerdas mais resistentes ou outro equipamento que promova escoriações.

Durante a compactação, deve ser assegurada a verticalidade do martelo e as pressões devem seguir a sequência por camada, conforme Figura 24. (Lopes, 2014)

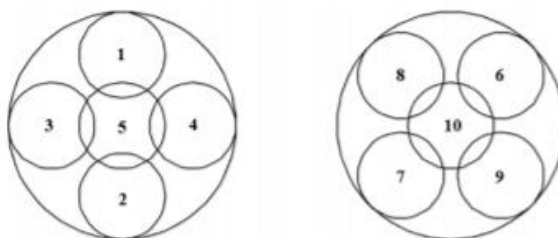


Figura 24 - Sequência da compactação da amostra reconstituída. (Lopes, 2014)

### 3.4.2.2. AMOSTRAS INDEFORMADAS

Nas amostras indeformadas, idealmente, o arranjo dos sólidos é igual ao no campo, portanto, apresenta o mesmo volume que ocupava no campo. Ao coletar tais amostras, normalmente em anéis volumétricos, cuidados especiais devem ser tomados a fim de garantir a não deformação da amostra. Amostras indeformadas servem para a determinação de praticamente todos os parâmetros da caracterização da composição física de um solo, por representarem exatamente uma camada do solo em estudo. (Lce; Para, 2016)

Conforme prescrito na norma de consolidação de solos esse tipo de amostra é preparada em câmara úmida. A amostra indeformada recolhida em campo é levada ao laboratório, assim, precisa do auxílio de um extrato para retirar a amostra de solo dos amostradores, em seguida fixa os anéis (a célula edométrica) ao solo para retirada das amostras do ensaio, com auxílio de arame fino utilizado para cortar o solo como um prisma com 2 cm maior que o diâmetro e a altura do anel, sem causar danos à amostra de solo. (DNER-IE 005, 1994), como mostra a Figura 25:



Figura 25 - Amostra indeformada. (Freitas, 2018)

Com o prisma de solo retirado do bloco, é necessário torneare e modelar a amostra retirando o excesso do solo no anel da amostra, deixando-a com diâmetro igual ao do anel. A parte superior e inferior do anel é cortada com auxílio de um arame fino e de uma espátula uniformiza-se a superfície da amostra. (DNER-IE 005, 1994), ver Figura 26:



Figura 26 - Amostra indeformada torneada. (Freitas, 2018)

Após a preparação do anel com a amostra deve-se colocar o anel em uma célula edométrica, sendo necessário que dentro dessa célula na parte inferior seja colocada primeiramente a pedra porosa e o papel filtro e em seguida o anel com a amostra. Na parte

superior da amostra coloca-se o papel filtro e a pedra porosa fechando-a com a placa de transmissão de cargas da célula edométrica. (DNER-IE 005, 1994), ver Figura 27:



Figura 27 - Célula edométrica. (Mendes, 2016; Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

### 3.5. ENSAIO EDMÉTRICO

Após a preparação da amostra, esta deve ser colocada na célula edométrica no equipamento de ensaio instalando-a de forma que ajuste os LVDT (Linear Variable Differential Transformer) ou o extensômetro para o início ao carregamento de cargas verticais da célula edométrica.

Inicialmente é aplicado uma pressão de 5 kPa para solos mais resistentes ou 2 kPa para solos menos resistentes (mais moles) e zerar o extensômetro ou LVDT após 5 min. Em seguida, é aplicada uma carga de 10 kPa nesse período podendo ter a possibilidade de inundar com água a célula edométrica. (DNER-IE 005, 1994 ; ASTM D2435/D2435M-11, 2020)

Deve-se realizar as leituras no extensômetro ou na aplicação com leitura automática usando os LVDTs. Os resultados serão registrados, as deformações verticais são medidas, em intervalos de tempos 1/8, 1/4, 1/2, 1, 2, 4, 8 e 15 min em 1, 2, 4, 8, 24 h ou mais tempo se for necessário. A sequência de cargas/tensões aplicadas à amostra é de 20, 40, 80, 160, 320 e 640 kPa ou 25, 50, 100, 200, 400 e 800 kPa. (DNER-IE 005, 1994 ; ASTM D2435/D2435M-11, 2020)

Buscando as características de expansão da amostra é importante retirar a sequência inversa de cargas empregadas à amostra e simultaneamente a cada retirada de carga faz-se a leitura da expansão pelo defletômetro na amostra os LVDTs.

Segundo T. William Lambe (1991) recomenda, quando o carregamento produz a sequência de pressões de 25 kPa até 800 kPa que se reduza a carga de modo que a

pressão atuante sobre o provete seja de 20 kPa e depois de 10 kPa. Deve-se deixar a amostra expandir cerca de 4 horas sob essas pressões. O autor destaca que não são necessárias leituras do defletômetro em função do tempo, somente as leituras inicial e final da expansão são necessárias. (DNER-IE 005, 1994)

Casagrande e Fadum (1940) recomendam que se retire primeiro 3/4 da carga total e, após, que se vá reduzindo pela metade as cargas restantes. E que se façam as leituras quando do carregamento na amostra. A retirada de uma carga só deve ser efetuada após estabilização da expansão do provete sob a carga que ainda está atuando. Depois de removida toda a carga, a amostra deve expandir durante 48 horas ou até que não seja observada nenhuma expansão durante 24 h. (DNER-IE 005, 1994)

Tschebotarioff (1973) recomenda que se deixe a amostra expandir durante cerca de 24 h após a retirada de cada carga. (DNER-IE 005, 1994)

Finalizando o processo de descarregamento da célula edométrica é preciso retirar o anel da amostra da célula e deve-se enxugar com papel absorvente todas as superfícies da amostra, pelo fato que está estava inundada em água, e deve-se também determinar o teor de umidade final da amostra. (DNER-IE 005, 1994)

### **3.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O processo de assentamento ocorre devido à expulsão da água presente nos espaços vazios dos solos, quando sujeito a cargas estáticas. Devido à sobrecarga constante sobre o maciço pode levar muitos anos até que ocorra todo processo de assentamento.

Desta forma, neste capítulo podem-se observar as etapas necessárias para preparar a amostra de solo, desde sua retirada em campo, como os cuidados em laboratório para montar a célula edométrica a executar o ensaio edométrico, tanto para as amostras indeformadas e reconstituídas.

Assim, consegue-se identificar e realizar um estudo prévio com cada tipo de solo de acordo com o seu comportamento à consolidação, relacionado à sequência de cargas e tempos de consolidação. Na Figura 28, vê-se uma sequência da realização do ensaio edométrico:

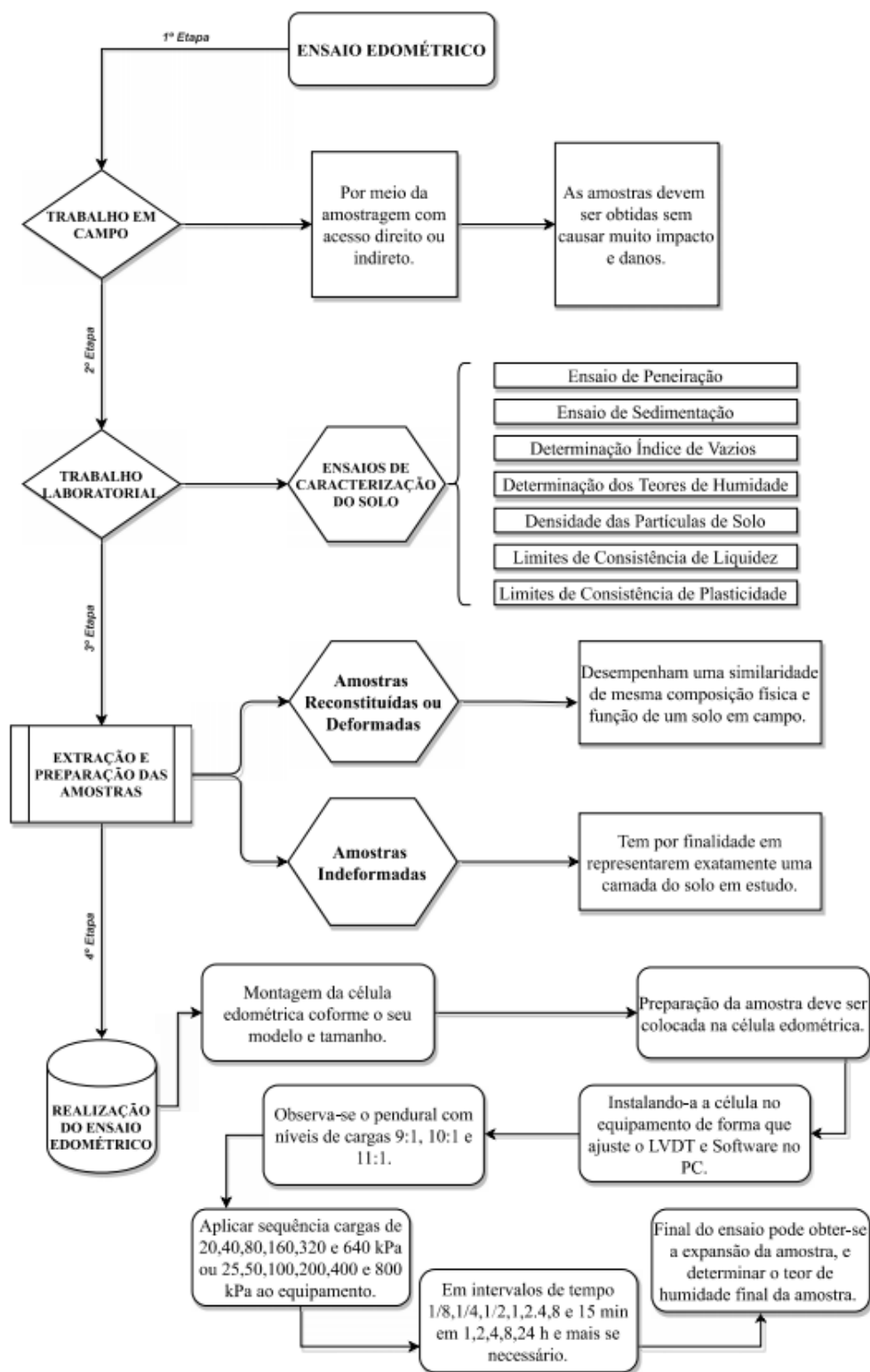


Figura 28 - Resumo ensaio edométrico. (Elaborada pela autora, 2020)

## **CAPÍTULO 4**

### **4. APRESENTAÇÃO DE UM ARQUIVO EM EXCEL OTIMIZADO PARA TRATAMENTO DOS RESULTADOS OBTIDOS DO ENSAIO EDOMÉTRICO**

#### **4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Nesse capítulo serão abordadas as etapas necessárias para o tratamento dos resultados obtidos após as amostras ensaiadas. Esse ensaio seguiu os procedimentos determinados conforme a norma de Solos - Adensamento do MT – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER – IE 005/94) e ASTM D2435 / D2435M - 11(2020) Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading.

Tem como objetivo obter os parâmetros do índice de recompressibilidade ( $c_r$ ) e índice de compressibilidade ( $c_c$ ), que podem ser obtidos e calculados seguindo os procedimentos da norma Solos Adensamento do MT – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER – IE 005/94). Assim será apresentada neste capítulo uma folha de cálculo otimizada para obter os parâmetros de compressibilidade atrás referidos, juntamente com a demonstração dos registros de dados gerados e gravados automaticamente durante toda a execução do ensaio edométrico.

#### **4.2. RESULTADOS GERADOS PELO EQUIPAMENTO DO ENSAIO EDOMÉTRICO**

O equipamento para realização do Ensaio Edométrico encontra-se instalado no Laboratório de Geotecnia do Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e Gestão.

No laboratório, existem três edômetros, o que permite a realização de três ensaios edométricos simultaneamente, dessa forma, obtêm-se com maior rapidez os resultados dos solos estudados com apoio do sistema de aquisição de dados semiautônomo que diminui erros na obtenção de leituras. A Figura 29 mostra o equipamento para a realização do ensaio. (Freitas, 2018)



Figura 29 - Representação dos edômetros. (Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

Na Figura 30, observa-se a bancada com os pesos para colocar no pendural do equipamento e que tem a função de gerar uma pressão vertical sobre a amostra. Através dos sensores LVDT (Linear Variable Differential Transformer) é possível obter as deformações verticais devido à carga aplicada sobre a amostra ao longo do tempo decorrido durante o ensaio. (Paula, 2017)



Figura 30 - Bancada com os pesos Kg para apoio ao ensaio. (Freitas, 2018)

Na Figura 31, estão apresentados os sensores LVDT (Linear Variable Differential Transformer) com o sistema que recebe o registro de dados dos testes, esses são conectados a uma aplicação de LabVIEW de software para PC com um hardware

dedicado específico para este tratamento de dados onde são gravados no computador. (Paula, 2017)

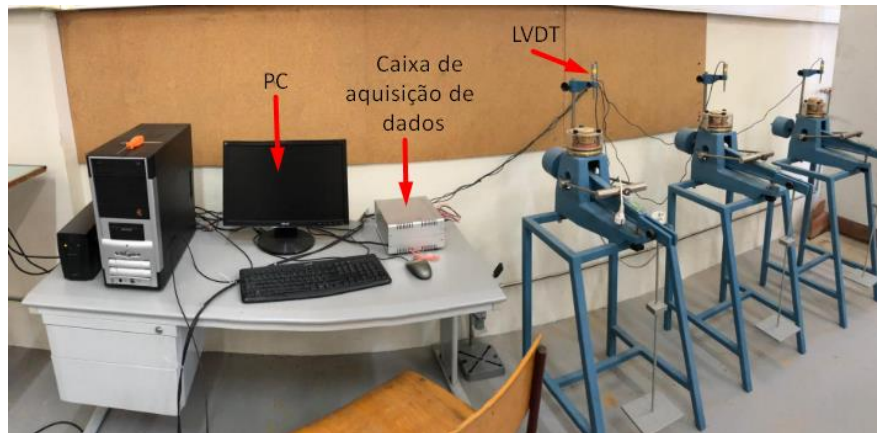


Figura 31 - Demonstração do PC conectados aos edômetros. (Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

A Figura 32 mostra a interface gráfica processada pela plataforma LabVIEW. O usuário precisa inserir algumas informações antes do registro de dados. Assim, tem de inserir uma breve descrição do solo a ensaiar e o valor da carga aplicada em cada ciclo de carga. O nome do arquivo é gerado automaticamente. Quando se realiza a alteração da carga a aquisição de dados é interrompida pelo software e pode-se alterar esse parâmetro. (Paula, 2017)

Na janela principal do software, existem algumas informações disponíveis, como uma tabela com rolagem vertical que mostra os arquivos armazenados, um slide horizontal que mostra a tensão de saída do LVDT e também é mostrado p deslocamento vertical linear na escala de  $10^{-2}$  mm do provete. Na interface do usuário, também estão disponíveis controles booleanos que permitem ao usuário iniciar e parar o registro de dados e também definir um novo zero para o sensor. (Paula, 2017)

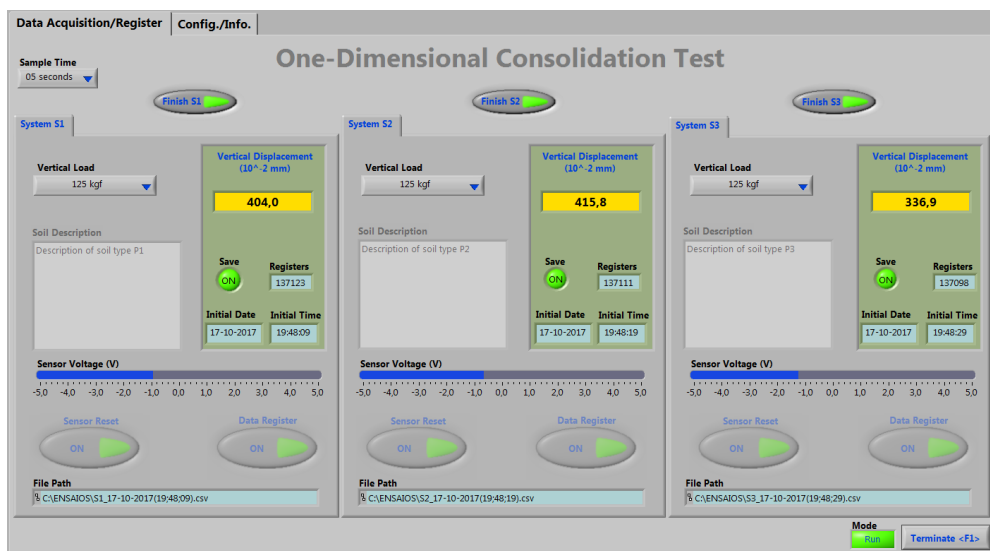


Figura 32 - Interface gráfica gerada pela plataforma LabVIEW. (Freitas, 2018)

A LabVIEW armazena todo histórico de registro durante o ensaio, e esses dados encontram-se armazenados em um banco de dados emitidos numa extensão csv (Valores Separados por Vírgulas), na Figura 33 representa um modelo de layout que é apresentado a gravação dos dados obtidos durante a realização do ensaio. (Freitas, 2018)

Descrição do Solo: Description of soil type P1									
Data de Início do Ensaio: 17-10-2017									
Segundos	Minutos	Horas	Tempo	Horário	Data	SQRT(minutos)	Deslocamento (10 <sup>-2</sup> mm)	Carga Aplicada (kgf)	
0	0	0	00:00:00	19:48:09	17/10/2017	0	0	-0,1	0,5
5	0,08	0,001389	00:00:05	19:48:14	17/10/2017	0,29	5,2	0,5	0,5
10	0,17	0,002778	00:00:10	19:48:19	17/10/2017	0,41	5,6	0,5	0,5
15	0,25	0,004167	00:00:15	19:48:24	17/10/2017	0,5	5,8	0,5	0,5
20	0,33	0,005556	00:00:20	19:48:29	17/10/2017	0,58	6,1	0,5	0,5
25	0,42	0,006944	00:00:25	19:48:34	17/10/2017	0,65	6,1	0,5	0,5
30	0,5	0,008333	00:00:30	19:48:39	17/10/2017	0,71	6,3	0,5	0,5
35	0,58	0,009722	00:00:35	19:48:44	17/10/2017	0,76	6,3	0,5	0,5
40	0,67	0,011111	00:00:40	19:48:49	17/10/2017	0,82	6,3	0,5	0,5
45	0,75	0,0125	00:00:45	19:48:54	17/10/2017	0,87	6,4	0,5	0,5
50	0,83	0,013889	00:00:50	19:48:59	17/10/2017	0,91	6,6	0,5	0,5
55	0,92	0,015278	00:00:55	19:49:04	17/10/2017	0,96	6,5	0,5	0,5
60	1	0,016667	00:01:00	19:49:09	17/10/2017	1	6,9	0,5	0,5
65	1,08	0,018056	00:01:05	19:49:14	17/10/2017	1,04	6,8	0,5	0,5
70	1,17	0,019444	00:01:10	19:49:19	17/10/2017	1,08	6,8	0,5	0,5
75	1,25	0,020833	00:01:15	19:49:24	17/10/2017	1,12	6,9	0,5	0,5
80	1,33	0,022222	00:01:20	19:49:29	17/10/2017	1,15	7,1	0,5	0,5
85	1,42	0,023611	00:01:25	19:49:34	17/10/2017	1,19	7,1	0,5	0,5

Figura 33 - Armazenamento de dados em um arquivo Layout em extensão csv. (Freitas, 2018)

Através dos dados registrados nesse arquivo csv é possível obter gráficos do tempo versus deslocamento vertical. Esse gráfico determina a taxa de consolidação do solo, que resulta no tempo necessário para compreender o processo de consolidação do solo analisado, conforme as teorias baseadas no método desenvolvido por Taylor e pelo método desenvolvido por Casagrande. (Freitas, 2018)

A Figura 34 demonstra uma das representações do gráfico que é gerado baseado na aquisição de dados pelo ensaio edométrico, para um estágio de carga.

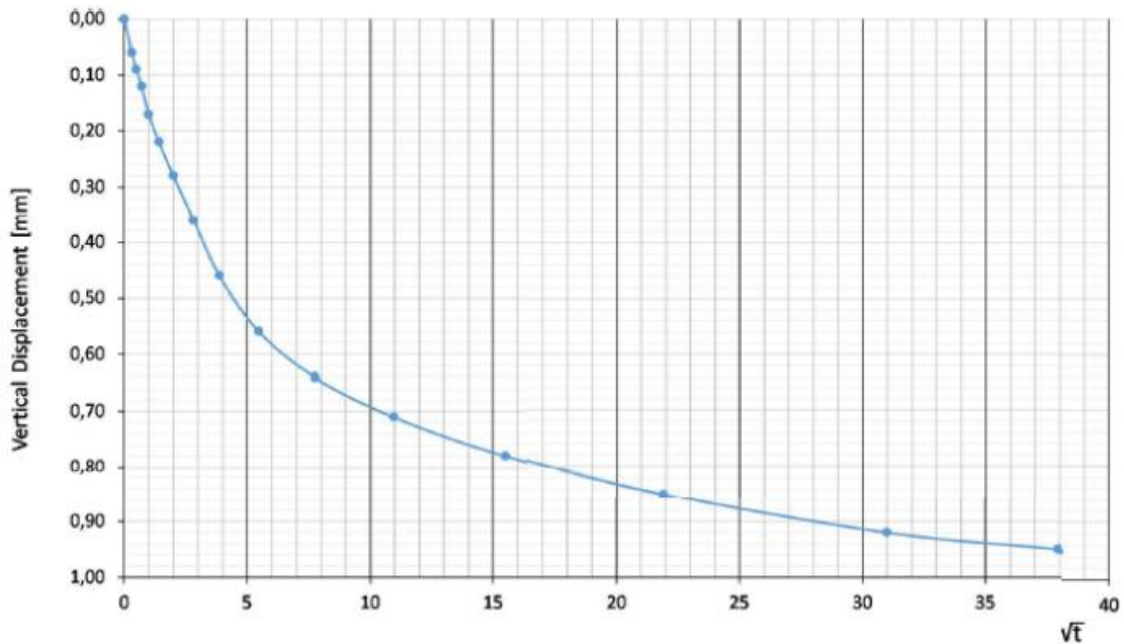


Figura 34 - Representação de gráfico obtido pelo resultado do ensaio edométrico. (Paula, 2017)

### 4.3. CÁLCULOS A REALIZAR DURANTE O ENSAIO EDOMÉTRICO

Após a realização do ensaio nas amostras de solos, é necessário obter e calcular o índice de recompressibilidade ( $c_r$ ) e o índice de compressibilidade ( $c_c$ ), entre outros parâmetros necessários sobre a análise do assentamento em maciço terrosos.

Segundo a norma Solos - Adensamento do MT – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER – IE 005/94), para efetuar os cálculos dos parâmetros referidos, pode-se seguir a sequência apresentada na Tabela 4 seguinte (para maior compreensão consultar a mesma).

Tabela 4 - Curva de Adensamento conforme a Norma DNER-IE 005/94. (Adaptado DNER-IE 005, 1994)

Cálculos conforme a <b>Norma DNER - IE 005/94</b>		
1 - Calcula-se as humidades inicial e final das amostra pela fórmula:	$h = \frac{P_h - P_s}{P_s} * 100$	h = teor de humidade, em %; P <sub>h</sub> = peso do solo húmido, em g; P <sub>s</sub> = peso do solo seco, em g.
2 - Calcule-se a altura sólida da amostra pela equação:	$H_s = \frac{P_s}{\gamma_g * A} * 100$	H <sub>s</sub> = altura sólida da amostra, em cm; P <sub>s</sub> = peso da amostra seca, em g; γ <sub>g</sub> = massa específica real do solo, em g/cm <sup>3</sup> ou 10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup> ; A = área da amostra, em cm <sup>2</sup> .
3 - Calcula-se o índice de vazios pela expressão:	$\varepsilon = \frac{H}{H_s} - 1$	ε = índice de vazios; H = altura da amostra, em cm; H <sub>s</sub> = altura sólida da amostra, em cm.
4 - Calcula-se o grau de saturação da amostra pela fórmula:	$S = \frac{h * \gamma_g}{\varepsilon * \gamma_a}$	S = grau de saturação da amostra, em %; γ <sub>g</sub> = massa específica real do solo, em g/cm <sup>3</sup> ou 10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup> ; h = humidade, em %; ε = índice de vazios; γ <sub>a</sub> = massa específica da água, considerada 1 g/cm <sup>3</sup> ou 10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup> .
5 - A altura da amostra para carga aplicada pela equação:	$H = H_1 - \Delta H$	H = altura da amostra, em cm; H <sub>1</sub> = altura da amostra antes da aplicação da carga, em cm; ΔH = variação da altura da amostra, valor antes da aplicação da carga e após a estabilização da amostra sob a mesma.

<p>6 - A altura da amostra após a retirada de uma carga pela expressão:</p>	$H = H_1 + \Delta H$	<p>H = altura da amostra, em cm;  H<sub>1</sub> = altura da amostra antes da retirada da carga, em cm;  ΔH = variação da altura da amostra, valor antes da retirada da carga após a última leitura da expansão.</p>
<p>7 - Calcule-se o coeficiente de adensamento pela fórmula:</p>	$C_v = \frac{T * \left(\frac{H_m}{2}\right)^2}{t}$	<p>C<sub>v</sub> = coeficiente de adensamento, em cm<sup>2</sup>/s ou 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>/s;  H<sub>m</sub> = altura média da amostra, a média das alturas antes da aplicação de uma carga e ao final, em cm;  t = tempo para que se dêem 50% ou 90% de adensamento, em s;  T = fator tempo, para 50% de adensamento igual a 0,197 e 90% de adensamento igual a 0,848.</p>
<p>Nota : Os valores dados de T somente são válidos para as condições normais de carregamento do ensaio e também levando em consideração a existência de duas faces de drenagem.</p>		
<p>8 - Determinação de 50% de adensamento:</p>	<p>Utiliza-se papel semilogarítmico de 5 ciclos para o traçado da curva do adensamento, e determina o tempo decorrido que dêem a 50% do adensamento.</p> <p>Para determinar 0% de adensamento escolhe-se no início da curva um ponto corresponde a um tempo qualquer.</p> <p>Determina-se a distância vertical entre este ponto e outro ponto da curva de adensamento cujo tempo seja 4 vezes maior do que o do primeiro.</p> <p>Marca-se, para cima do primeiro ponto, a distância vertical determinada e transporta-se esta para o eixo das ordenadas da curva de adensamento. Repete-se a operação mais 2 vezes.</p> <p>A média entre os pontos determinados é 0% de adensamento.</p> <hr/> <p>Determina-se 100% de adensamento pela interseção das tangentes aos ramos da curva de adensamento, que definem as compressões primárias e secundária da amostra. Transporta-se o ponto achado para o eixo das ordenadas da curva de adensamento.</p> <hr/> <p>Os 50% de adensamento são a metade da distância entre 0% e 100% de adensamento.</p> <hr/> <p>Os 50% de adensamento correspondem a um ponto na curva de adensamento cuja abscissa é o tempo decorrido para que se dê o referido adensamento.</p>	

	Quando se usa o papel aritmético e se coloca no eixo das abscissas a raiz quadrada do tempo, determina-se o tempo decorrido para que se deem 90% de adensamento.	
9 - Determinação de 90% de adensamento:	Determina-se 90% de adensamento traçando-se uma reta cuja origem seja a mesma do prolongamento do trecho reto da curva de adensamento e cujas abscissas sejam 1,15 vezes maiores do que as da reta citada. Esta outra reta corta a curva de adensamento a 90% de adensamento e a abscissa que corresponde a este ponto é a raiz quadrada do tempo em que ocorrem 90% de adensamento.	
10 - Calcule -se o coeficiente de compressibilidade pela equação:	$a_v = \frac{\Delta \varepsilon}{\Delta p}$	$a_v$ = coeficiente de compressibilidade, em $\text{cm}^2$ ou $10^3 \text{ kPa}^{-1}$ ; $\Delta \varepsilon$ = decréscimo de índice de vazios; $\Delta p$ = acréscimo de pressão, isto é, a diferença entre a pressão que atuava anteriormente na amostra e a pressão atuante, em $\text{g/cm}^2$ ou $10^{-3} \text{ kPa}$ .
11 - Denomina-se coeficiente de deformação volumétrica pela expressão:	$m_v = \frac{a_v}{1 + \varepsilon_m}$	$m_v$ = coeficiente de decréscimo de volume, em $\text{cm}^2/\text{g}$ ou $10^3 \text{ kPa}^{-1}$ ; $a_v$ = coeficiente de compressibilidade, em $\text{cm}^2/\text{g}$ ou $10^3 \text{ kPa}^{-1}$ ; $\varepsilon_m$ = índice de vazios médio.
12 - Calcule-se o coeficiente de permeabilidade pela fórmula:	$K = C_v * m_v * \gamma_a$	$C_v$ = coeficiente de adensamento, em $\text{cm}^2/\text{s}$ ou $10^3 \text{ m}^2/\text{s}$ ; $K$ = coeficiente de permeabilidade, em $\text{cm}/\text{s}$ ou $10^{-2} \text{ m}/\text{s}$ ; $m_v$ = coeficiente de decréscimo de volume, em $\text{cm}^2/\text{g}$ ou $10^3 \text{ kPa}^{-1}$ ; $\gamma_a$ = massa específica da água, considerada igual a $1 \text{ g/cm}^3$ ou $10^3$
Nota : O coeficiente de permeabilidade K, calculado pelo ensaio de adensamento só dá valores coerentes para solos de baixa permeabilidade, isto é, de coeficiente de permeabilidade inferior a $1 \times 10^{-7} \text{ cm}/\text{s}$ ou $10^{-9} \text{ m}/\text{s}$ .		

Através do gráfico da variação do índice de vazios versus a tensão efetiva vertical na escala semilogarítmico pode-se analisar os resultados ocorrentes durante o ensaio. Na Tabela 5, referente os procedimentos referidos na norma Solos - Adensamento do MT – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER – IE 005/94), para maior compreensão consultar a mesma para efetuar estes procedimentos.

Tabela 5 - Curva de Adensamento conforme a Norma DNER-IE 005/94. (Adaptado DNER-IE 005, 1994)

Resultados conforme a <b>Norma DNER - IE 005/94</b>		
1 - Traçar-se em papel semilogarítmico de 3 ciclos a curva pressão x índice de vazios, colocando-se no eixo das ordenadas os índices de vazios e no eixo das abscissas as pressões.		
2 - O trecho reto da curva pressão x índice de vazios é denominado de reta virgem e o índice de compressão é a inclinação da reta virgem, pela fórmula:	$I_e = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\log \frac{P_2}{P_1}}$	$I_e$ = índice de compressão; $\varepsilon_1$ = um valor do índice de vazios; $\varepsilon_2$ = outro valor do índice de vazios; $P_1$ = pressão correspondente ao primeiro índice de vazios; $P_2$ = pressão correspondente ao segundo índice de vazios.
Pode-se retirar diretamente da curva pressão x índices de vazios o valor do índice de compressão. Estende-se a reta virgem até cortar a ordenada de índice de vazios no início de um ciclo do papel semilogarítmico. Prolonga-se também até cortar a ordenada de índice de vazios no final do mesmo ciclo. O índice de compressão é a diferença entre os índices de vazios encontrados.		
3 - Para se determinar a pressão de pré-adensamento, traça-se uma tangente ao ponto de menor raio de curvatura da curva pressão x índice de vazios. Traça-se uma horizontal passando pelo mesmo ponto. Traça-se a bissetriz do ângulo formado por aquelas retas. Prolonga-se reta virgem até que corte a bissetriz. A pressão correspondente ao ponto determinado é a pressão ao pré-adensamento.		
4 - Na mesma folha de papel semilogarítmico em que foi traçada a curva pressão x índice de vazios, traça-se a reta de permeabilidade que é obtida relacionando-se valores de pressão média para cada estágio de carga com os coeficientes de permeabilidade correspondentes.		
5 - Em papel semilogarítmico de 3 ciclos traça-se a curva relacionando-se pressões médias para cada estágio de carga com coeficientes de adensamento correspondentes.		

#### 4.3.1. OTIMIZAÇÃO EM PLANILHAS DE EXCEL PARA O TRATAMENTO DOS RESULTADOS DO ENSAIO

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um arquivo em Excel automatizado, com planilhas de cálculos que obtêm resultados sobre o comportamento de compressão do solo e o efeito da consolidação em maciços terrosos, a partir de resultados

de um banco de dados obtidos do formato csv (Valores Separados por Vírgulas) gerado pelo software do ensaio edométrico da ESTiG-IPB e já brevemente referido atrás.

A primeira versão do arquivo de cálculo em Excel foi elaborada no Laboratório de Geotecnia da ESTiG. Esse foi otimizado de forma a deixá-lo mais automático possível, em que o usuário consiga com maior facilidade e rapidez, executar o tratamento dos resultados do ensaio edométrico.

Esse trabalho pretende otimizar a primeira versão do arquivo em Excel para poder processar banco de dados de grande extensão gerados pelo equipamento de ensaio.

As Figuras 35, 36, 37 e 38 abaixo mostram o layout do arquivo de cálculo em Excel antes da execução da otimização realizada nesse trabalho. A folha de Excel não possuía formatação menus para navegação, não há a utilização de Macros ou programação para automatização entre outros comandos similares.

No entanto, a primeira versão permitia realizar todas as etapas necessárias para receber os dados do ensaio edométrico, e dessa forma, possa calcular e representar todos os dados sobre a consolidação de uma amostra de solo.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	<b>Celula de Consolidação 1 (Pequena)</b>														
2	Di=	0,05 m					A= 1,9635E-03 m <sup>2</sup>								
3	H=	0,02 m					Vi= 3,9270E-05 m <sup>3</sup>								
4					Peso do pistão=		0,54	kgf							
5															
6		<b>Carga Inicial</b>	<b>Ciclos de Carga</b>							Peso da célula de consolidação (inicio)=		2949,5	g		
7	kPa	5,00	10,00	20,00	40,00	80,00	160,00	320,00							
8	N (N)	9,82	19,63	39,27	78,54	157,08	314,16	628,32							
9	N (kgf)	1,00	2,00	4,00	8,01	16,02	32,03	64,07							
10	Placas (kgf)	0,10	0,20	0,40	0,80	1,60	3,20	6,41							
11															
12		<b>Carga Inicial</b>	<b>Ciclos de Carga</b>												
13	kPa	5,00	12,00	25,00	50,00	100,00	200,00	400,00							
14	N (N)	9,82	23,56	49,09	98,17	196,35	392,70	785,40							
15	N (kgf)	1,00	2,40	5,01	10,01	20,02	40,04	80,09							
16	Placas (kgf)	0,10	0,24	0,50	1,00	2,00	4,00	8,01							
17															
18															
19		<b>Carga Inicial</b>	<b>Ciclos de Carga</b>												
20	kPa	5,20	15,19	27,67	52,65	102,59	202,48	402,27							
21	N (N)	10,21	29,82	54,34	103,37	201,44	397,58	789,85							
22	N final (kgf)	1,04	3,04	5,54	10,54	20,54	40,54	80,54							
23	Pistão (kgf)	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54							
24	N (kgf)	0,50	2,50	5,00	10,00	20,00	40,00	80,00							
25	Placas (kgf)	0,05	0,25	0,50	1,00	2,00	4,00	8,00							
26															
27															
28		<b>Carga Inicial</b>													
29	kPa	801,83	1600,96	3199,22	6395,75										
30	N (N)	1574,39	3143,48	6281,66	12558,02										
31	N final (kgf)	160,54	320,54	640,54	1280,54										
32	Pistão (kgf)	0,54	0,54	0,54	0,54										
33	N (kgf)	160,00	320,00	640,00	1280,00										
34	Placas (kgf)	16,00	32,00	64,00	128,00										
35															
36															
		<b>Ciclos Carga (Pequena)</b>			Ciclos Carga (Média)		Ciclos Carga (Grande)		Grandezas Iniciais-Finais		Tabela e	Tempo-Deformação (1)			

Figura 35 – Aba de cálculo dos ciclos de cargas - folha não otimizada. (Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	<b>Grandezas Físicas</b>				Pequena	Média	Grande						
2	Area transversal da amostra	A=	50,26548	cm <sup>2</sup>		X							
3	Altura inicial	H <sub>0</sub> =	2,00000	cm									
4	Volume inicial	V <sub>0</sub> =	100,53096	cm <sup>3</sup>				Peso da célula de consolidação (início)=	4405,2	g			
5	Massa húmida inicial total	M <sub>10</sub> =	395,00000	g				Peso da célula de consolidação + Solo (início)=	4800,2	g			
6	Teor em água inicial	w <sub>0</sub> =	#DIV/0!	%									
7	Densidade das partículas	G=	2,68000					Peso da célula de consolidação + Solo (fim)=		g			
8	Massa húmida final total	M <sub>11</sub> =	0,00000	g				Peso da célula de consolidação (fim)=		g			
9	Massa seca total	M <sub>d</sub> =	0,00000	g									
10	Teor em água final (amostra final)	w <sub>10</sub> =	66,66667	%									
11	Altura final	H <sub>f</sub> =	1,50000	cm				ΔH (fim)=	5	mm			
12	Teor em água final	w <sub>f</sub> =	#DIV/0!	%									
13	Peso volumico seco	γ <sub>d</sub> =	0,00000	g/cm <sup>3</sup>									
14		γ <sub>d</sub> =	0,00000	kN/m <sup>3</sup>									
15	Volume das partículas sólidas	V <sub>s</sub> =	0,00000	cm <sup>3</sup>									
16	Altura equivalente de partículas solidas	H <sub>s</sub> =	0,00000	cm									
17	Índice de vazios inicial	e <sub>0</sub> =	#DIV/0!										
18	Índice de vazios final	e <sub>f</sub> =	#DIV/0!										
19	Grau de saturação inicial	S <sub>0</sub> =	392,91377	%	#DIV/0!								
20	Grau de saturação final	S <sub>f</sub> =	0,00000	%	#DIV/0!								
21													
22													
23													
24													
25													
26													
27													
28													
29													
30													
31													
32													
33													
34													
35													
36													
37													

Teor em água final w<sub>10</sub>

Peso recipiente= 50 g

Peso recipiente + solo humido= 100 g

Peso recipiente + solo seco= 80 g

Peso solo humido= 50 g

Peso solo seco= 30 g

Peso água= 20 g

w<sub>10</sub>= 66,6667 %

Figura 36 - Aba de cálculos das propriedades da amostra - folha não otimizada. (Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

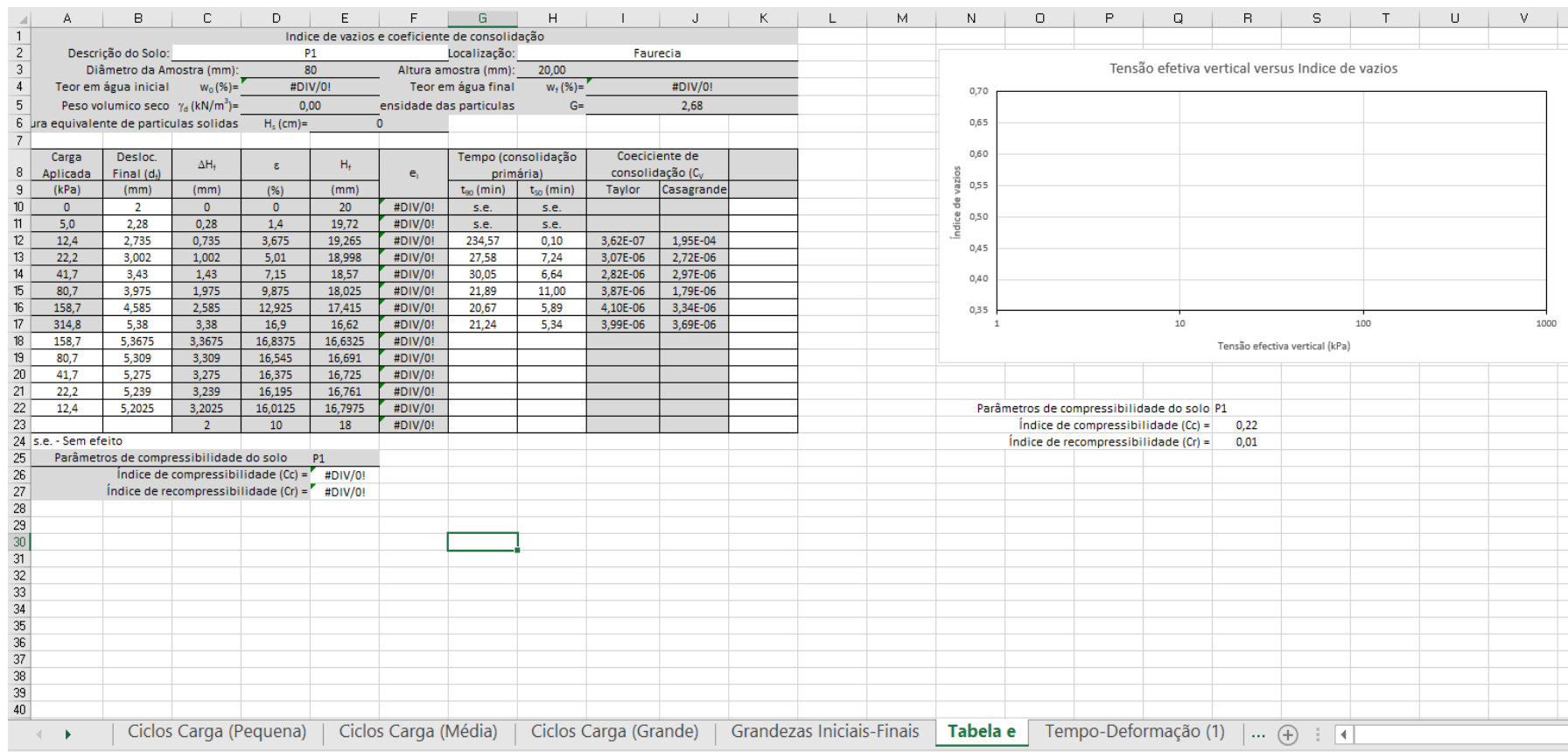


Figura 37 - Aba de cálculo do índice de vazios e consolidação - folha não otimizada. (Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

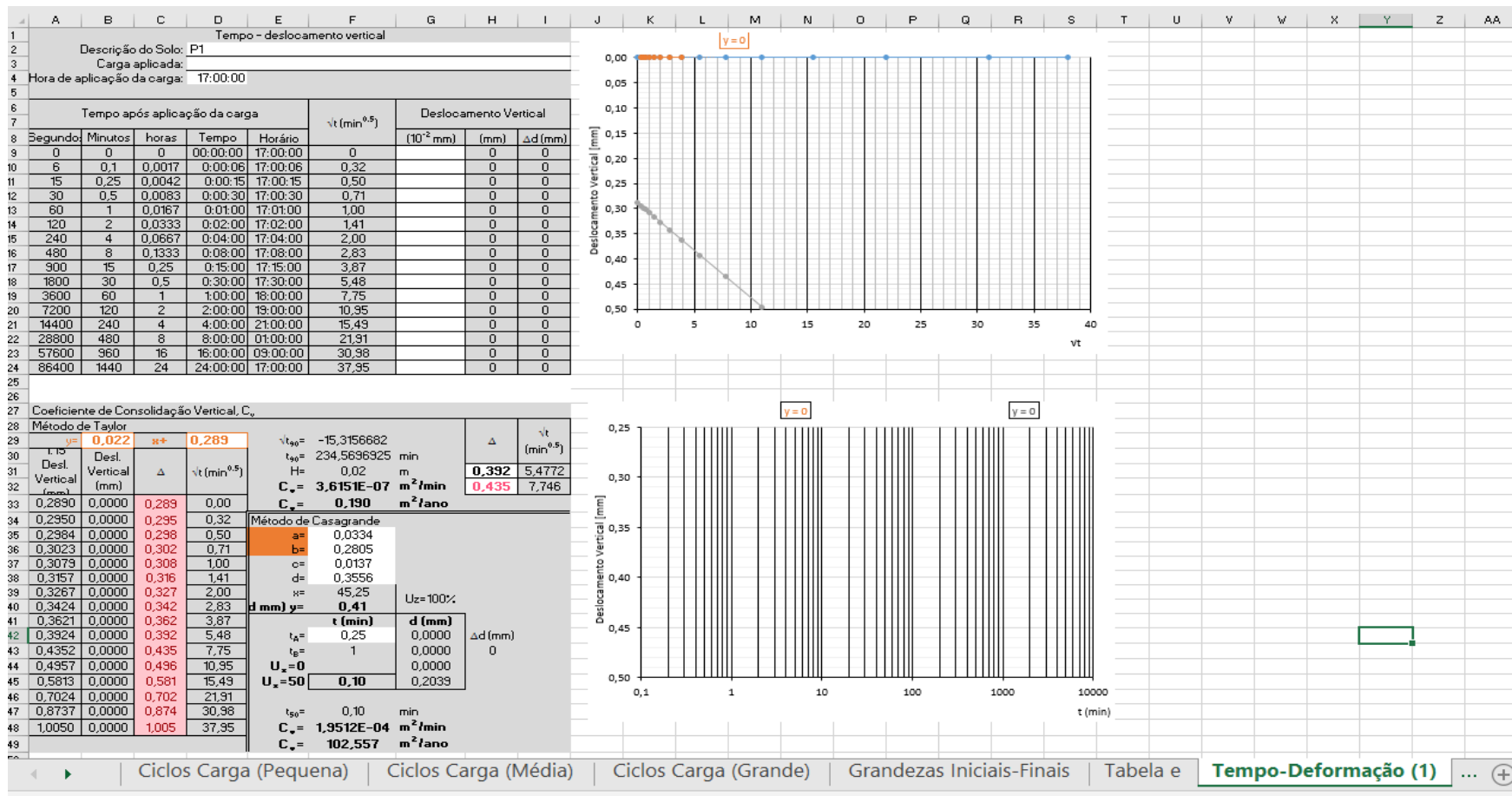


Figura 38 - Aba de cálculo do tempo e deformação vertical - folha não otimizada. (Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

## **4.3.2. COMANDOS E PROGRAMAÇÃO UTILIZADOS NO ARQUIVO DE CÁLCULO EM EXCEL**

### **4.3.2.1. COMANDOS PARA ASPECTO VISUAL DO ARQUIVO**


Primeiramente foi construída toda a performance com intuito em obter melhor apresentação visual do arquivo ao ser utilizado pelo usuário. Dentre alguns comandos foram utilizados como:

- Aplicação de cores em células, formatação da fonte e tamanho nos textos;
- Inserção de imagens como representação de slogan do Instituto em que o arquivo Excel será utilizado, representação do equipamento do Ensaio Edométrico, fluxograma que disponibiliza orientação para etapas ocorrentes durante o ensaio;
- Contém ícones exemplo dos Menus, uma forma de chamar atenção do usuário que há espaços e comandos a serem preenchidos pelo utilizador;
- Criação de menus laterais, para melhor direcionamento do usuário nas diferentes funções e com um fluxo mais dinâmico na utilização da planilha;
- Utilização de botões de Controle de Formulários, ao acioná-los o usuário poderá executar uma determinada ação necessária de forma mais simples;
- Aplicação de Hiperlinks ou Links aos botões, que permitem mudar de planilhas dentro do arquivo Excel com apenas um click;
- Apresenta pequenos textos que fornecem explicações dando-lhe atenção das etapas e objetivos que o usuário possa vir a realizar.

Essa ação em criar um ambiente de visualização melhor ao arquivo foi efetuada antes de inserir comando mais complexos como as Macros e VBA (Virtual Basic for Applications) para Excel, após concretizar toda a ambientação que o usuário precise, a parte de programação foi executada.

Abaixo nas Figuras 39, 40, 41, 42, 43 e 44 mostra-se a representação do ambiente visual criada.

# ENSAIO EDOMÉTRICO



**MENU INICIAL**

**TIPO DE CICLOS DE CARGA**

1ª Seleccione o botão abaixo para carregar o ficheiro de dados gerado pelo equipamento do Ensaio Edométrico\*

Inserir Arquivo do Ensaio Edométrico


2ª Seleccione o botão abaixo conforme o tipo de Ciclo de Carga realizado pelo Ensaio Edométrico\*\*

Ciclo de Carga (Pequena)

Ciclo de Carga (Média)

Ciclo de Carga (Grande)

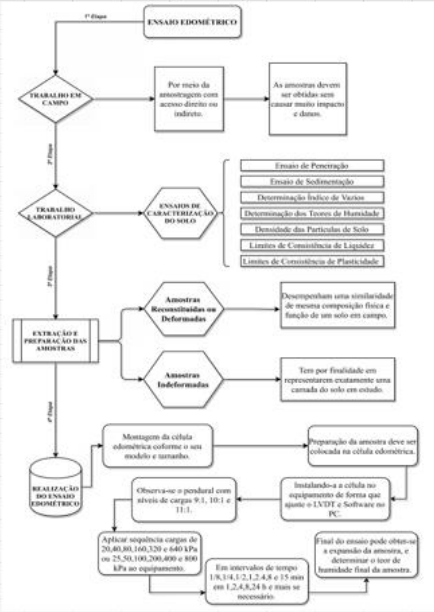
*Equipamento para o Ensaio Edométrico  
(Laboratório de Geotécnica do Instituto Politécnico de Bragança)*



**Observações no uso do arquivo de cálculo:**

- 1 - Converter arquivo do ensaio do modelo csv para o modelo xlsb.
- 2 - Não salvar o ficheiro xlsb e o arquivo de cálculo dentro de um longo diretório de pastas criadas.
- 3 - Nomear o ficheiro no separador com o mesmo nome do arquivo salvo.
- 4 - Após carregar o arquivo do ensaio seleccionar o tipo de Ciclo de Carga.
- 5 - Ao carregar o ficheiro xlsb não abrir simultaneamente outro arquivo Excel durante o carregamento.
- 6 - Recomenda não inserir novas colunas e linhas no arquivo de cálculo.

*Instruções para realização do ensaio*



M. Inicial
Ciclos Carga (Pequena)
Ciclos Carga (Média)
Ciclos Carga (Grande)
M. Principal
Grandezas Iniciais-Finais
Vazios e C...

Figura 39 - Aba menu inicial - folha otimizada. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

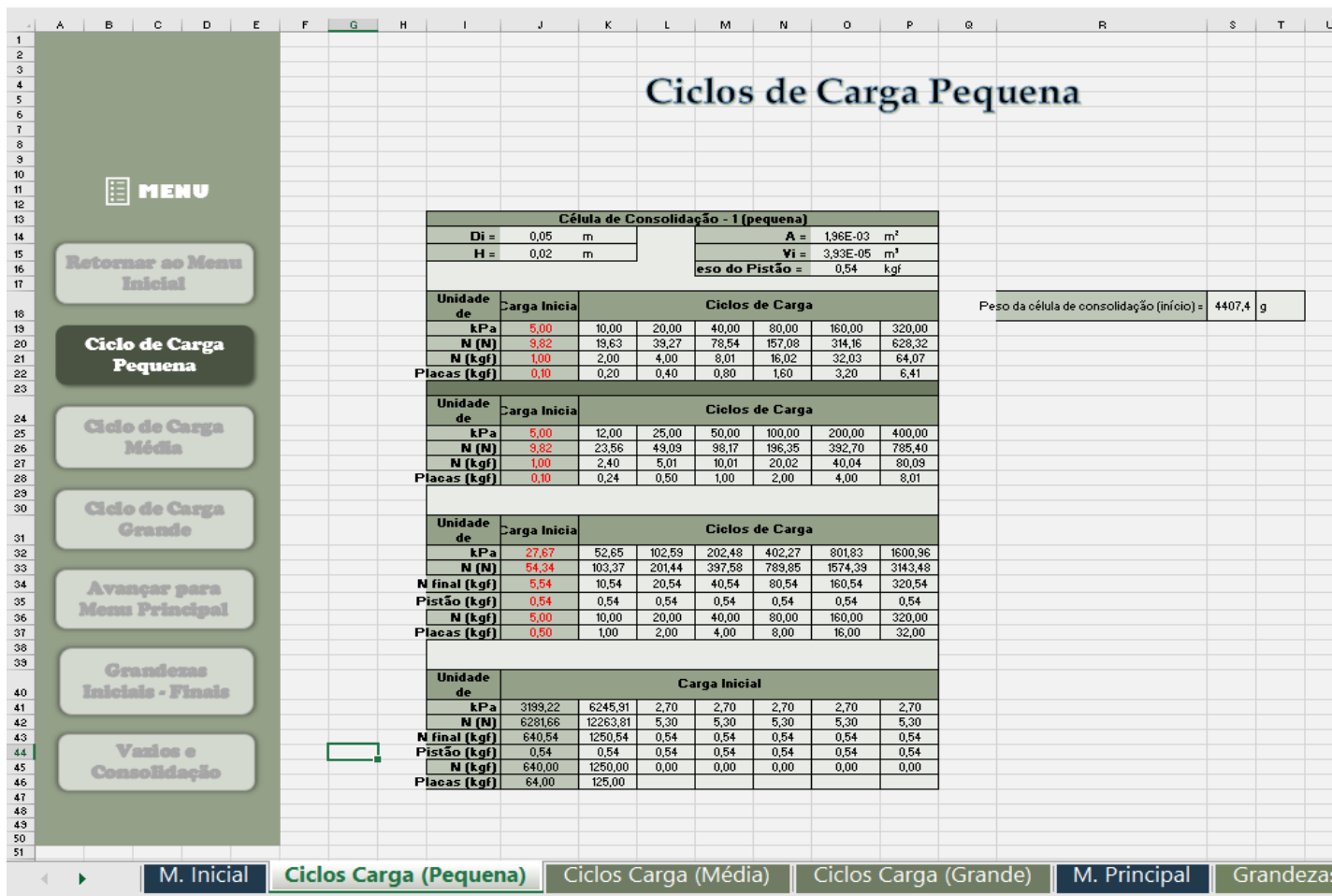



Figura 40 - Aba de cálculo dos ciclos de cargas - folha otimizada. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

**INSERIR DADOS ENSAIO EDOMÉTRICO**

 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA - Escola Superior de Tecnologia DE BRAGANÇA e de Gestão

\* Etapa para inserir dados necessários na obtenção da resolução do ensaio!

### Grandezas Iniciais - Finais

densidade das partículas G = 2,75

DH (fim) = 1,793 mm

célula de consolidação (início) = 4407,4 g

célula de consolidação + Solo (início) = 4595,6 g

célula de consolidação + Solo (fim) = 4610,6 g

massa da célula de consolidação (fim) = 4415,8 g

Teor em água final w <sub>fp</sub>	
Peso recipiente =	347,90 g
recipiente + solo húmido =	560,68 g
recipiente + solo seco =	505,00 g

### Descrição da Amostra de Solo

tipo / Nome da amostra = Edómetro 3 Solo Silto Argilos: ação da retirada da amostra = Empresa Faurecia

Altura amostra (mm) : 20

Selecione o botão caso seja necessário atualizar o ficheiro de dados gerados pelo equipamento do Edómetro

Inserir Arquivo do Ensaio Edométrico

M. Inicial
Ciclos Carga (Pequena)
Ciclos Carga (Média)
Ciclos Carga (Grande)
M. Principal
Grandezas Iniciais-Finais

Figura 41 - Aba menu principal - folha otimizada. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)



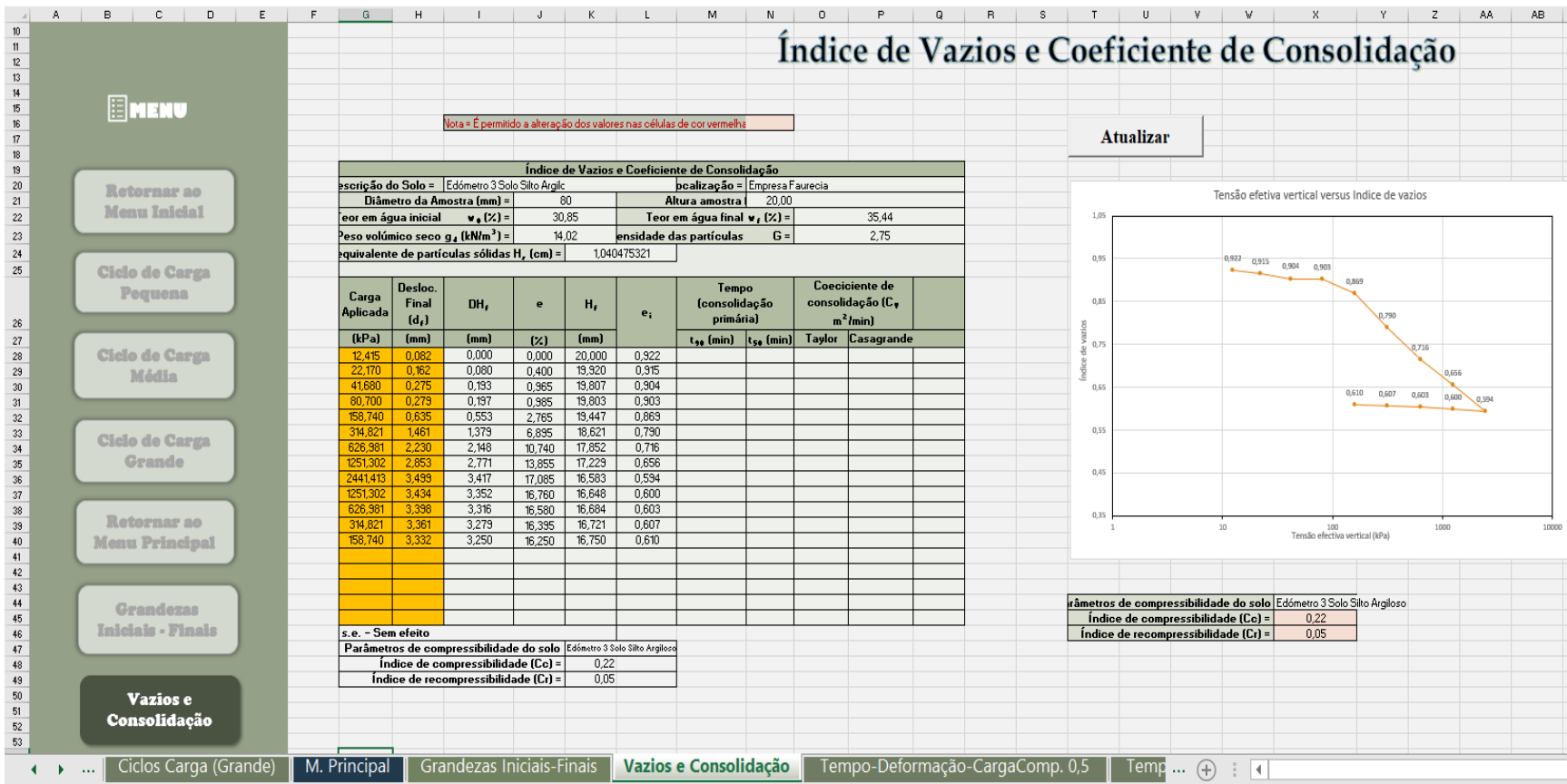


Figura 43 - Aba de cálculo do índice de vazios e consolidação - folha otimizada. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

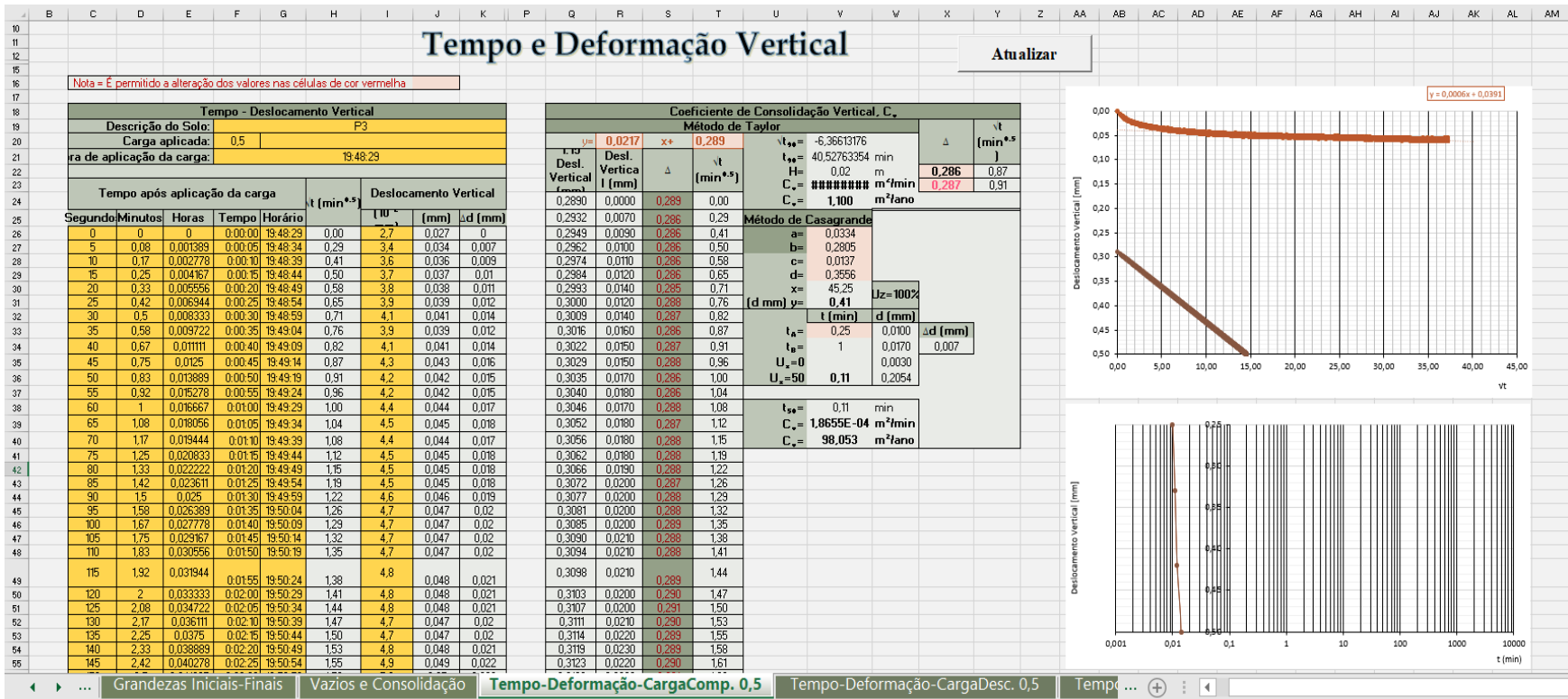


Figura 44 - Aba de cálculo do tempo e deformação vertical - folha otimizada. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

#### 4.3.2.2. PROGRAMAÇÃO PARA AUTOMATIZAÇÃO DO ARQUIVO

Para essa solução foi necessário utilizar ferramentas dentre as Macros e VBA (Virtual Basic for Applications) para Excel. Essa fase tem como objetivo tornar o arquivo mais automatizado possível ao tratamento de dados fornecidos pelo ensaio edométrico.

Uma macro é uma sequência de comandos e funções armazenados em módulo de programação do Virtual Basic for Applications (VBA) e podem ser executados sempre que precisar efetuar a tarefa. (Battisti, 2016)

O Visual Basic for Applications (VBA) é uma linguagem de programação de computadores assim como existem outras linguagens de programação (JAVA, HTML, DELPHI, C+, C++). Porém, o VBA é a linguagem de programação dos programas do sistema operativo Windows. (Delgado, 2020)

As Macros são excelentes soluções para automatizar uma tarefa que é realizada através de uma série de cliques de mouse ou toque no teclado. Porém existem situações mais complexas, que envolvem cálculos ou uma lógica mais apurada, em que não é possível encontrar a solução do problema, simplesmente usam-se comandos ou fórmulas prontas do Excel. (Battisti, 2016)

Nessas situações, precisa-se fazer o uso de programação, um programa ou módulo como é chamado no Excel, construir uma sequência de comandos VBA, em que cada comando executa um passo específico, necessário para resolução do problema. (Battisti, 2016)

No VBA, os códigos gerados são todos criados em Inglês e não existe tradução dos códigos para o português. Até porque um código não teria seu valor se fosse escrito em diversas linguagens, ou seja, perderíamos o padrão mundial e um código não funcionaria em outras plataformas. (Delgado, 2020)

Antes de iniciar, é preciso ter conhecimento sobre os fundamentos do VBA, esses são os pontos necessários para construir uma linguagem no Excel, estudar as declarações de variáveis, tipo de dados, operadores aritméticos, valores lógicos, operadores lógicos, estrutura de controle, estrutura de decisão, estrutura de repetição, exemplo de utilização dentre outros. (Battisti, 2016)

Todas as macros que se salvam geram códigos que ficam armazenados em um programa que funciona paralelamente ao Excel que é o Visual Basic Editor (VBE). Esse programa funciona paralelamente a todos os softwares do pacote do Ms Office (Access, Word, Power Point, etc), com especificidades para cada software, principalmente no que

diz respeito aos códigos de programação, dessa forma podem realizar conexões de dados entre si. (Delgado, 2020)

No presente trabalho, será necessária a conexão de um banco de dados exterior onde se encontram todas as informações de resultados emitidos após o término da execução do ensaio edométrico. Assim, trata-se de um banco de dados para a programação de linguagem VBA numa forma de estarem conectados para ocorrer a base de tratamento desses dados, dessa forma, é preciso utilizar na própria interface do VBA em Excel a linguagem Structured Query Language (SQL) sendo a tradução da linguagem de consulta estruturada.

Para conhecimento, quando os Bancos de Dados estavam sendo desenvolvidos, foram criadas linguagens destinadas a definições e manipulações desses bancos, e devido a essa necessidade, foi desenvolvida pelo Departamento de Pesquisas da IBM a SQL como forma de interface para os sistemas de banco de dados relacionados. Mais tarde a American National Standard Institute (ANSI) definiu um padrão SQL mundial, atualmente a ANSI/ISO define esses padrões. (Domínio Sistema Ltda, 2009)

A linguagem SQL tem a capacidade de gerenciar índices, sem a necessidade de controle individualizado de índice corrente, algo muito comum nas linguagens de manipulação de dados do tipo registro a registro. Outra característica muito importante disponível em SQL é sua capacidade de construção de visões, que são formas de visualizarmos os dados na forma de listagens, independente das tabelas e organização lógica dos dados. Outra característica interessante na linguagem SQL é a capacidade que se dispõe de cancelar uma série de atualizações, ou de gravá-las depois de iniciar uma sequência de atualizações. (Domínio Sistema Ltda, 2009)

O seu funcionamento ocorre nas informações de um banco de dados que ficam armazenadas dentro de tabelas, que por sua vez possuem campos. Sendo assim, quando se quiser extrair informações, ou seja, saber por exemplo, em que departamento um determinado valor está, precisamos primeiramente saber qual o banco de dados, qual a tabela que representa os valores e em qual campo (ou coluna) está especificamente o código dos valores. (Domínio Sistema Ltda, 2009)

Numa sintaxe de comando na linguagem SQL, juntamente à plataforma de interface do VBA, a programação compreenderá qual o arquivo que seja o banco de dados a ser analisado em que ocorre toda leitura, para extrair os dados necessários, podem utilizar condições para extração de dados, aplicam-se operadores lógicos para uma determinada ação, caso seja necessário eliminam-se duplicidades, realizam-se

agrupamentos de dados a um determinado grupo, detectam valores nulos entres vários comandos disponibilizados na linguagem SQL para uma leitura em base dados. (Domínio Sistema Ltda, 2009)

A seguir, em anexo, abordam-se de uma forma geral as etapas e o processo da construção da linguagem de programação em VBA, SQL e as Macros necessárias para esse trabalho em estudo, a recordar sobre um arquivo de cálculo em Excel para o tratamento dos resultados gerados pelo ensaio edométrico.

Observa-se que na interface do VBE (Visual Basic Editor) mostra a construção do código VBA (Visual Basic for Applications) do trabalho, em que apresenta a estrutura de programação, a apresentação do objetivo e função de cada comando criado, escrito na Língua Portuguesa, para melhor entendimento do código.

- Construção do código para a Pasta de Trabalho, que refere a todo arquivo de cálculo, no Anexo 1.
- Construção do código SQL para a primeira abordagem que é o modo de conexão e desconexão ao banco de dados, no Anexo 2.
- Construção do código VBA para leitura, consulta e desenvolvimento ao inserir o banco de dados, das instruções públicas relacionadas à planilha e instruções privadas relacionadas às abas específicas, no Anexo 3.
- Construção do código para Macros simples sobre conexões de botões entre planilhas, no Anexo 4.
- Construção do código do Formulário que apresenta-se ao usuário o tempo e as etapas durante o processo em carregar o banco de dados, na Figura 45 e Anexo 5.

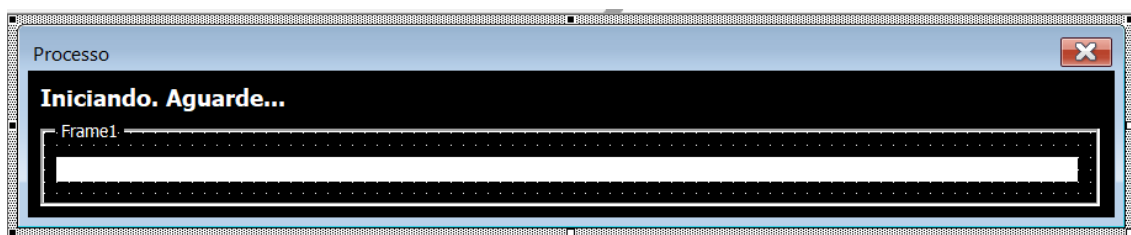


Figura 45 - Construção do formulário VBA. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

### 4.3.3. INSTRUÇÃO A UTILIZAÇÃO DO ARQUIVO EXCEL OTIMIZADO

Nessa parte do trabalho, expõem a instrução da melhor forma como utilizar o arquivo de cálculo em Excel para o tratamento dos resultados gerados pelo ensaio edométrico. Após todo o processo de construção de linguagem de programação, o arquivo nesse exato momento encontra-se em condições a ser utilizados pelos usuários, pois todos comandos necessários internamente já estarão interligados para executar a sua função. Sendo necessário que os usuários sigam as etapas a seguir:

- **1º Etapa:** Converter arquivo gerado pelo software do equipamento do ensaio.

Antes de inserir o arquivo gerado pelo Ensaio Edométrico na planilha de cálculo otimizado, é necessário converter o formato do arquivo do ensaio da seguinte forma, o arquivo será emitido num modelo csv para Excel, precisa ser transformado para modelo xlsb para Excel, como segue o tutorial com imagens abaixo:

1. A Figura 46 mostra como o arquivo gerado pelo ensaio ficará gravado no computador (PC).



Nome	Data de modificação	Tipo	Tamanho
S1_03-02-2017(10:55:50) (2)	13/03/2017 14:07	Arquivo de Valores Separados por Vírgulas do Microsoft Excel	45.090 KB
S1_03-10-2017(16:54:37) (8)	21/12/2017 16:41	Arquivo de Valores Separados por Vírgulas do Microsoft Excel	6.868 KB
S1_03-10-2017(16:54:37)(1)	08/01/2018 13:15	Arquivo de Valores Separados por Vírgulas do Microsoft Excel	7.879 KB
S1_03-10-2017(16:54:37)	09/10/2017 19:56	Arquivo de Valores Separados por Vírgulas do Microsoft Excel	7.170 KB
S1_17-10-2017(19:48:09) (9)	11/08/2020 16:22	Arquivo de Valores Separados por Vírgulas do Microsoft Excel	27.653 KB
S1_17-10-2017(19:48:09) (10)	13/11/2017 15:12	Arquivo de Valores Separados por Vírgulas do Microsoft Excel	1.232 KB
S1_19-07-2017(17:43:14) (2)	19/07/2017 16:44	Arquivo de Valores Separados por Vírgulas do Microsoft Excel	1 KB
S1_26-10-2017(19:40:18) (4)	13/12/2017 15:27	Arquivo de Valores Separados por Vírgulas do Microsoft Excel	2.153 KB
S1_26-10-2017(19:40:18)	28/10/2017 19:16	Arquivo de Valores Separados por Vírgulas do Microsoft Excel	2.304 KB
S1_28-10-2017(19:24:48)	11/11/2017 19:21	Arquivo de Valores Separados por Vírgulas do Microsoft Excel	16.436 KB

Figura 46 - Tipo de modelo gravado no PC, criado pelo software ensaio edométrico. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

2. Após abrir o arquivo, precisa-se modificar o formato no próprio software Excel na parte “salvar como” faça a escolha na parte Tipo “pasta de trabalho binária do Excel”, na Figura 47 mostram-se os detalhes.

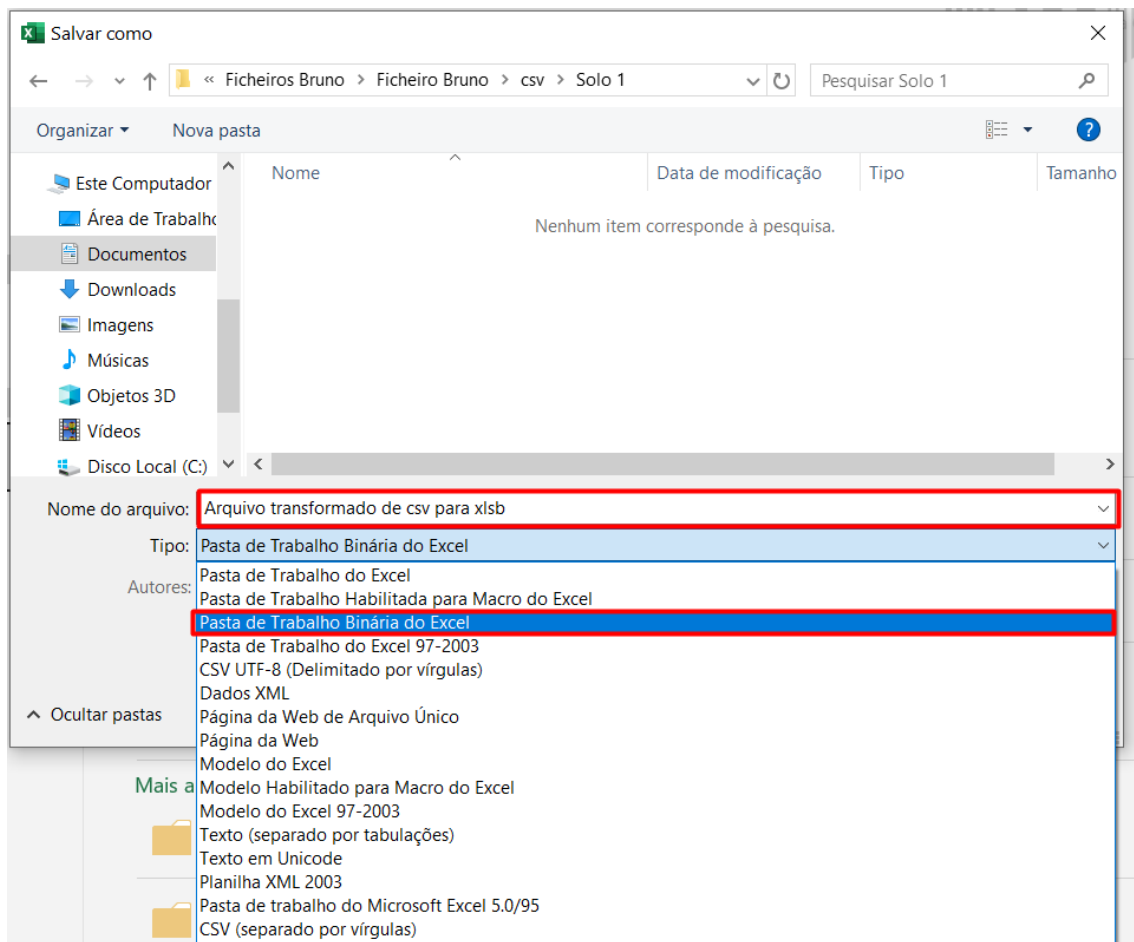


Figura 47 - Modificar arquivo csv para xlsb. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

3. Realiza-se essa modificação no arquivo e no computador; ficará gravado dessa forma conforme a Figura 48, precisa nomear o ficheiro com o mesmo nome do arquivo e na aba interna como indicado em vermelho na Figura 49 a seguir.

Nome	Data de modificação	Tipo	Tamanho
Ficheiro completo Solo 1	05/10/2020 23:22	Planilha Binária do Microsoft Excel	12.232 KB
Ficheiro completo Solo 2	05/10/2020 23:23	Planilha Binária do Microsoft Excel	17.096 KB
Ficheiro completo Solo 3	05/10/2020 23:22	Planilha Binária do Microsoft Excel	11.105 KB

Figura 48 - Tipo de modelo gravado no PC, após converter o formato. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

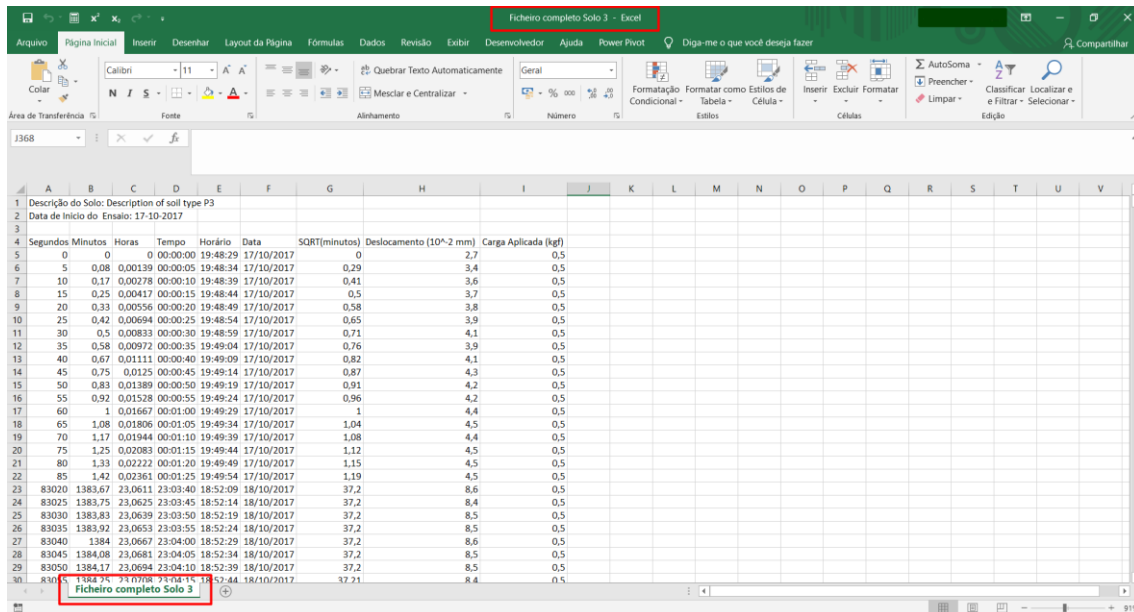


Figura 49 - Nomear arquivo e aba do ficheiro. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

- **2º Etapa:** : Inserir o arquivo de dados do ensaio edométrico na planilha de Excel otimizado.

Após concluir toda modificação da primeira etapa, o usuário pode abrir o arquivo de cálculo otimizado para inserir o ficheiro de resultados na planilha. Desta forma, a Figura 50 mostra a folha de “menu inicial”; nessa parte há um botão “inserir arquivo do ensaio edométrico” onde o usuário precisa carregar o arquivo de dados.

**ENSAIO EDOMÉTRICO**

**ipb**  
INSTITUTO POLITÉCNICO Escola Superior de Tecnologia  
DE BRAGANÇA e de Gestão

**MENU INICIAL**

**TIPO DE CICLOS DE CARGA**

"1ª Seleccione o botão abaixo para carregar o ficheiro de dados gerado pelo equipamento do Ensaio Edométrico"

**Inserir Arquivo do Ensaio Edométrico**

"2ª Seleccione o botão abaixo conforme o tipo de Ciclo de Carga realizado pelo Ensaio Edométrico"

Ciclo de Carga (Pequena)

**Ciclo de Carga (Média)**

Ciclo de Carga (Grande)

*Equipamento para o Ensaio Edométrico  
(Laboratório de Geotécnica do Instituto Politécnico de Bragança)*



**\* Observações no uso do arquivo de cálculo:**

- 1 - Converter arquivo do ensaio do modelo csv para o modelo xlsb.
- 2 - Não salvar o ficheiro xlsb e o arquivo de cálculo dentro de um longo diretório de pastas criadas.
- 3 - Nomear o ficheiro no separador com o mesmo nome do arquivo salvo.
- 4 - Após carregar o arquivo do ensaio selecionar o tipo de Ciclo de Carga.
- 5 - Ao carregar o ficheiro xlsb não abrir simultaneamente outro arquivo Excel durante o carregamento.
- 6 - Recomenda não inserir novas colunas e linhas no arquivo de cálculo.

*Instruções para realização do ensaio*



**M. Inicial**
Ciclos Carga (Pequena)
Ciclos Carga (Média)
Ciclos Carga (Grande)
**M. Principal**
Grandezas Iniciais-Finais
Vazios e (...)

Figura 50 - Botão para inserir o arquivo do ensaio edométrico. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

As Figuras 51 e 52 seguintes ilustram os procedimentos para carregar o ficheiro xlsb. A primeira Figura 51 ilustra onde se encontram gravados os ficheiros convertidos; a Figura 52 mostra os ficheiro xlsb a serem inseridos na planilha de cálculo. Só pode ser carregado um ficheiro de cada vez para o tratamento dos resultados do ensaio.

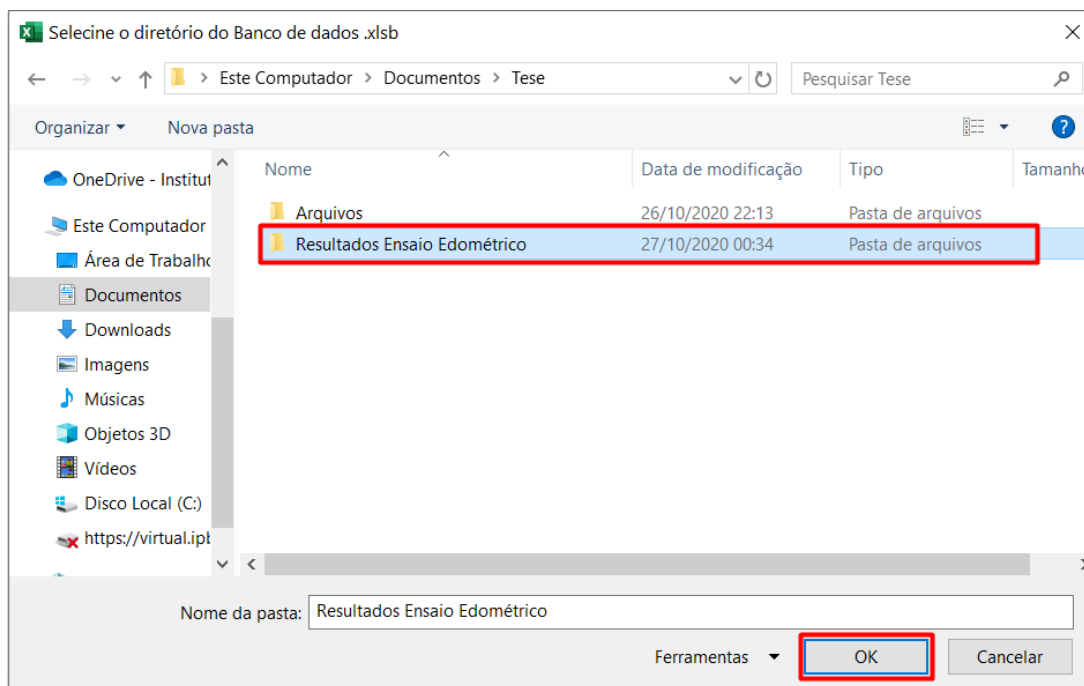


Figura 51 - Diálogo do diretório da escolha da "Pasta" no PC. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

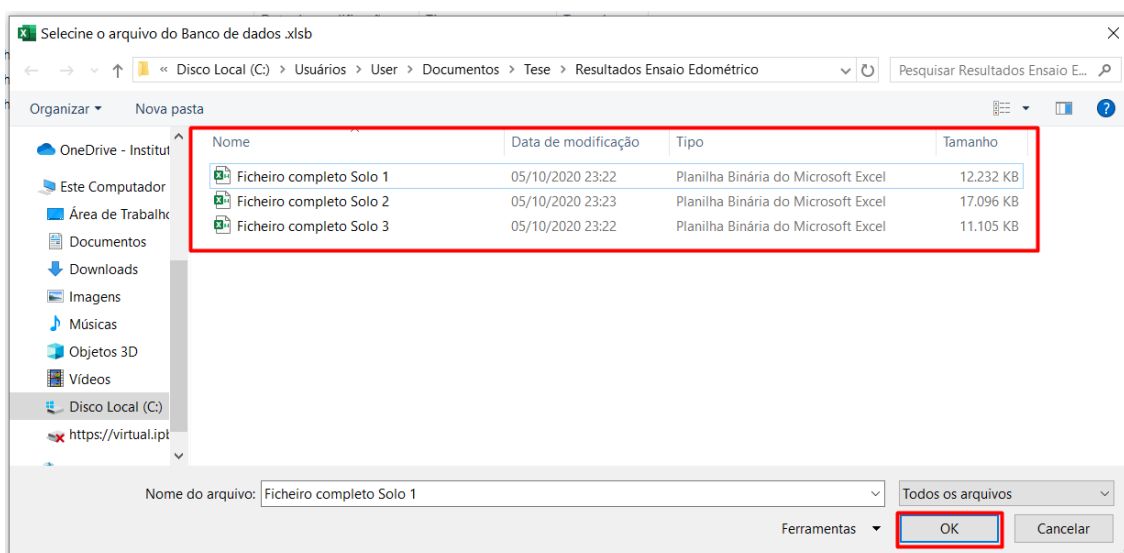


Figura 52 - Diálogo do diretório da escolha do "Ficheiro xlsb" no PC. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

Pode ocorrer a situação que o próprio arquivo de cálculo otimizado já possui um “ficheiro xlsb”, assim, apresentará uma caixa de diálogo conforme a Figura 53 para alertar o usuário da sua escolha.

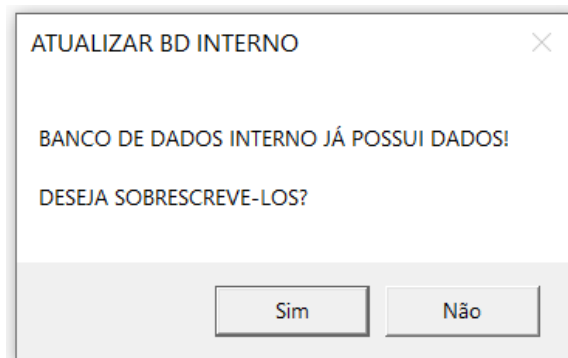


Figura 53 Caixa de diálogo para atualizar o banco de dados (BD). (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

Após a escolha do ficheiro a tratar, será apresentada uma caixa de diálogo que mostrará todas as etapas e o tempo necessário para o carregamento do “ficheiro xlsb”, conforme a Figura 54.

Dependendo do tamanho do “ficheiro xlsb”, o tempo de carregamento pode ser mais rápido ou não. Em ficheiros pesados e ensaios longos, pode levar até mais de 2 horas para terminar. No fim do carregamento, aparecerá uma caixa de diálogo como na Figura 55 mostrando o tempo de “duração da operação” que leva para finalizar, para seguir clicar em “OK”.

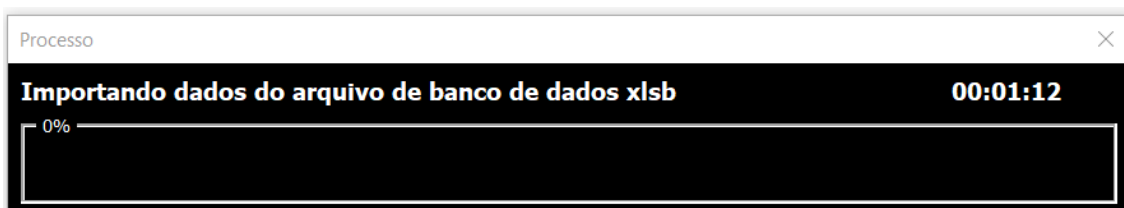


Figura 54 - Caixa de diálogo do processo de carregamento do ficheiro xlsb. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

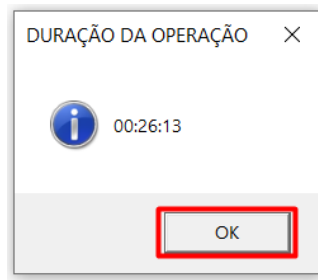


Figura 55 - Caixa de diálogo sobre a duração da operação. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

Caso apareça uma caixa de diálogo como representada na Figura 56, significa que ocorreu algum erro ao carregar o arquivo “ficheiro xlsb”. Neste caso, recomenda-se que o usuário salve novamente o arquivo em formato xlsb, e assim prossiga o carregamento do arquivo novamente. Aconselha-se também não salvar o arquivo de cálculo otimizado e o ficheiro no formato xlsb, dentro de um longo diretório de pastas criadas, de modo que possa localizar os documentos com uma maior facilidade e rapidez. De preferência ao inserir o arquivo xlsb, não abrir simultaneamente outro documento Excel durante o carregamento do ficheiro no arquivo de cálculo otimizado.

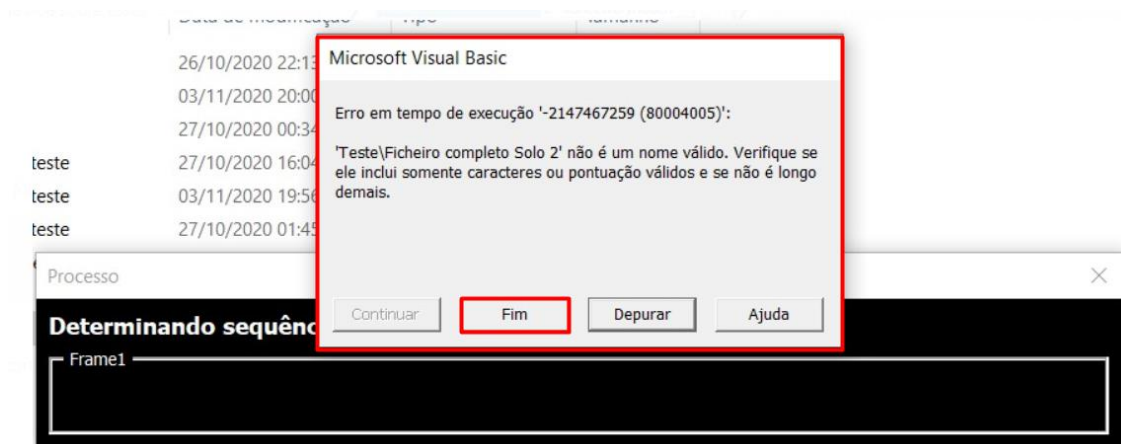


Figura 56 - Caixa de diálogo sobre erro. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

- **3º Etapa:** Selecionar o tipo de Ciclo de Carga utilizado durante o ensaio edométrico.

Após, todo tempo de carregamento do ficheiro de dados no arquivo otimizado, aparecerá ao usuário uma caixa de diálogo como mostra a Figura 57; é uma interface de atenção ao usuário para que ele não esqueça de realizar a sua escolha do “tipo de ciclo de carga”. É presente na Figura 58 o “tipo de ciclo de carga” que possui, localiza-se na aba do “menu inicial” no arquivo de cálculo otimizado.

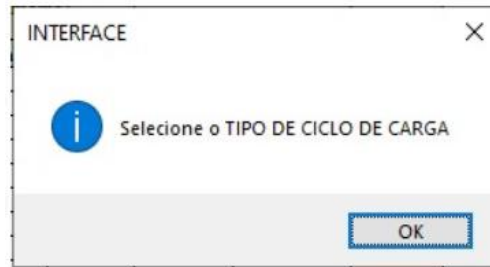


Figura 57 - Caixa de diálogo a atenção ao tipo de ciclo de carga utilizado no ensaio edométrico. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

**ENSAIO EDMÉTRICO**

**MENU INICIAL**

**TIPO DE CICLOS DE CARGA**

**Inserir Arquivo do Ensaio Edométrico**

**Equipamento para o Ensaio Edométrico**  
(Laboratório de Geotécnica do Instituto Politécnico de Bragança)

**Instruções para realização do ensaio**

**Observações no uso do arquivo de cálculo:**

- 1 - Converter arquivo do ensaio do modelo csv para o modelo xlsb.
- 2 - Não salvar o ficheiro xlsb e o arquivo de cálculo dentro de um longo diretório de pastas enfiadas.
- 3 - Nomear o ficheiro no separador com o mesmo nome do arquivo salvo.
- 4 - Após carregar o arquivo do ensaio selecionar o tipo de Ciclo de Carga.
- 5 - Ao carregar o ficheiro xlsb não abrir simultaneamente outro arquivo Excel durante o carregamento.
- 6 - Recomenda não inserir novas colunas e linhas no arquivo de cálculo.

**M. Inicial** Ciclos Carga (Pequena) Ciclos Carga (Média) Ciclos Carga (Grande) M. Principal Grandezas Iniciais-Finais Vazios e...

Figura 58 - Botão para escolha do tipo de ciclo de carga utilizado no ensaio edométrico. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

- **4º Etapa:** Obtenção dos resultados nas abas presentes no arquivo de cálculo otimizado.

Após concluir as etapas anteriores, o usuário obterá, na planilha de cálculo otimizada e para todas as pressões verticais aplicado ao provete durante o ensaio (estágios de carga), a deformação vertical versus o tempo. Será criado um separado/aba para cada estágio de pressão vertical aplicada. Como as sequências de pressão podem aumentar ou diminuir durante a realização do ensaio, o próprio arquivo de Excel classificará cada estágio de carga como compressão (caso a carga aumente relativamente ao estágio anterior) ou de descompressão (caso a carga diminua relativamente ao estágio anterior).

Como exemplo do referido acima, na Figura 59 seguinte ilustram-se as abas criadas para cada estágio de carga/pressão vertical aplicada ao provete, as abas têm o nome de “tempo-deformação-cargacomp. --” ou “tempo-deformação-cargadesc. --”.

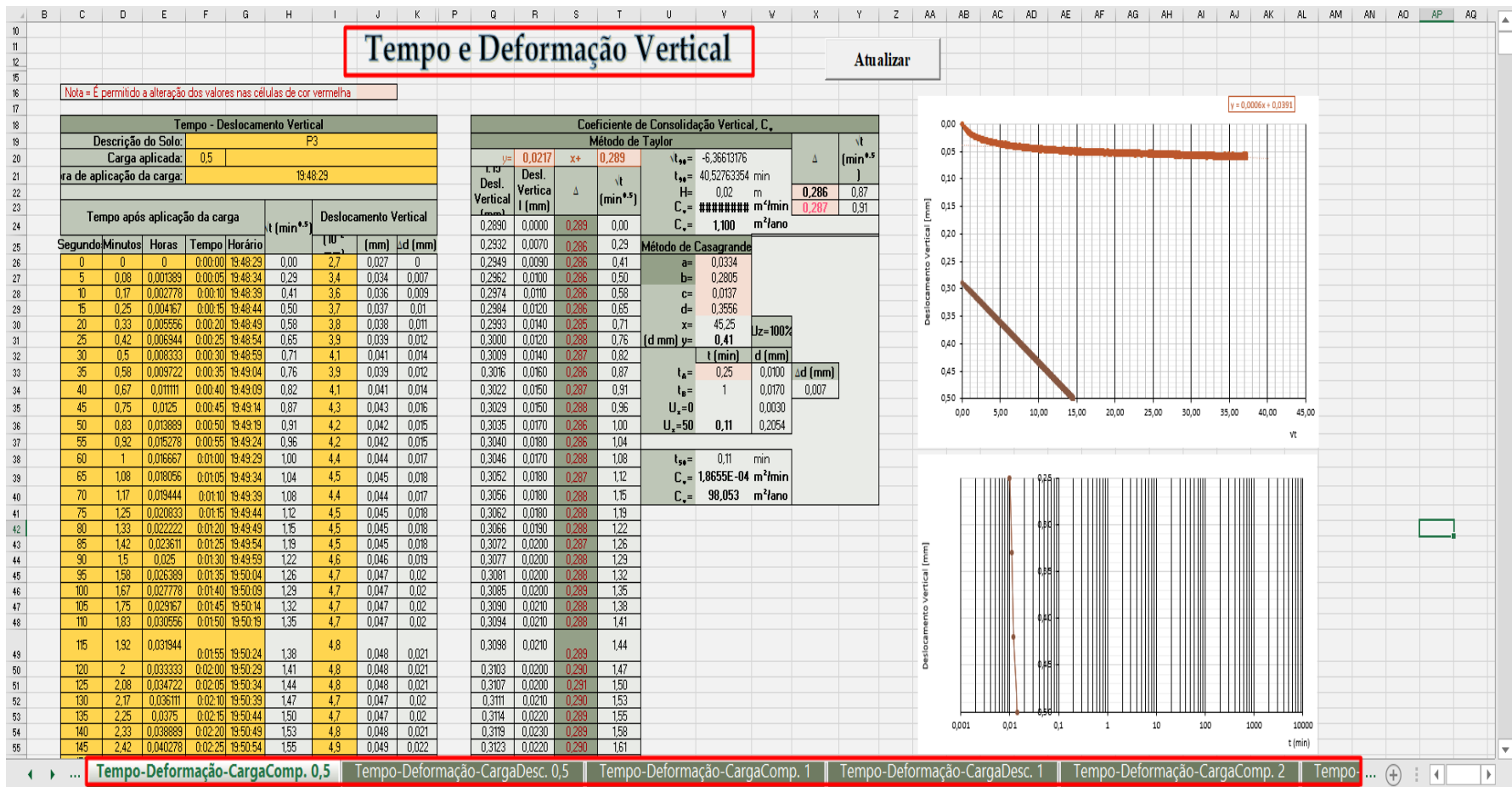


Figura 59 - Abas criadas para o cálculo do tempo de deformação vertical. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

Depois de criadas as abas/separadores de deformação vertical versus tempo para cada carga/pressão aplicada, é necessário atualizar a formatação das células e também o resultado dos gráficos. Para essa ação é preciso clicar no botão “Atualizar” conforme a Figura 60, o processo deve-se repetir para cada separador.

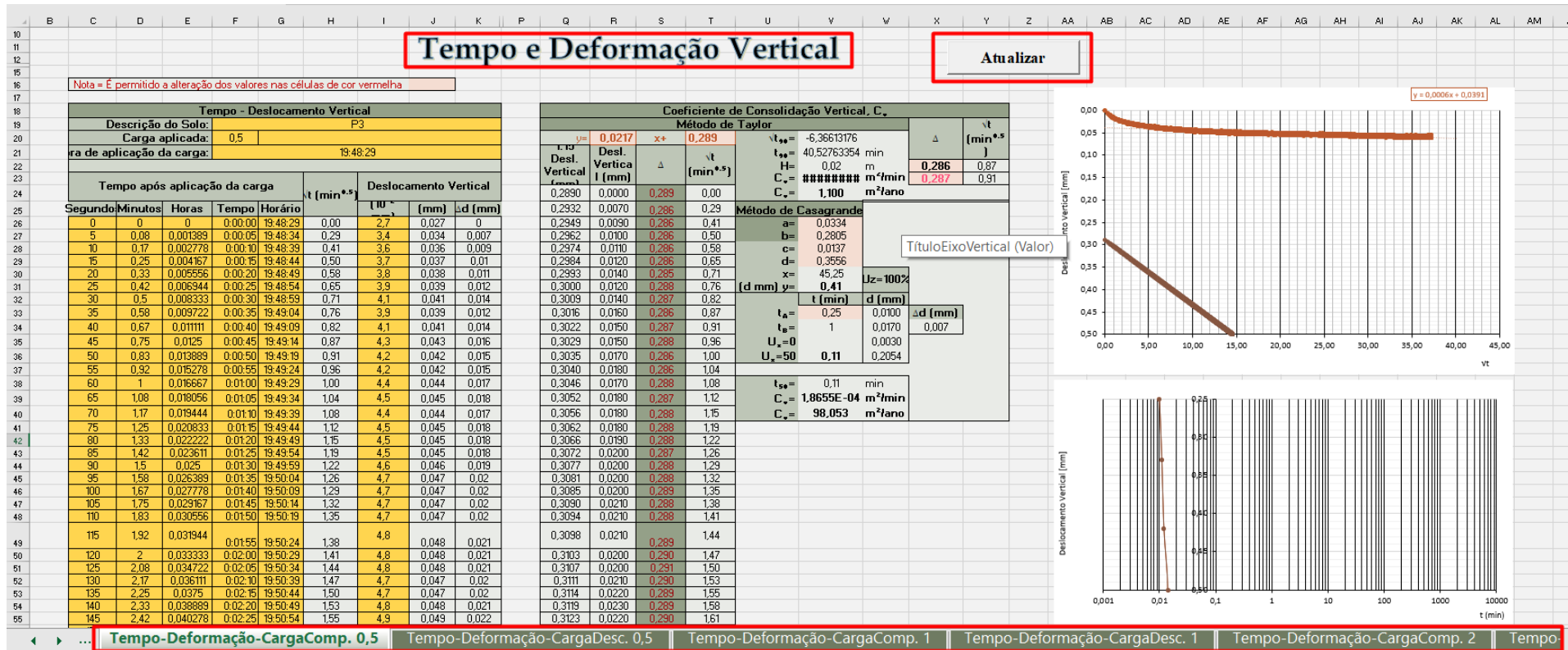


Figura 60 - Botão atualizar nas planilhas de cálculo do tempo de deformação vertical. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

Ao clicar o botão “Atualizar”, aparecerá uma caixa de diálogo como ilustra a Figura 61, nesse caso é preciso clicar em “OK” para que a tabela e o gráfico sejam atualizados.

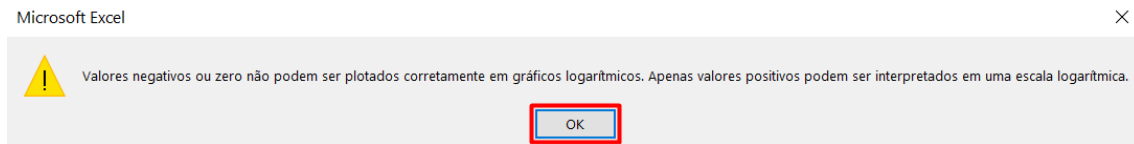


Figura 61 - Caixa de diálogo ao atualizar tabelas e gráficos. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

Nas abas de “ciclo de carga (pequena, média ou grande)”, apresenta automaticamente a sequência de cargas a ser usada do ensaio. Essa informação é posteriormente usada nos restantes cálculos essenciais ao tratamento de resultados na folha de Excel, ver Figura 62.

## Ciclos de Carga Pequena

**MENU**

Retornar ao Menu Inicial

**Ciclo de Carga Pequena**

Ciclo de Carga Média

Ciclo de Carga Grande

Avançar para Menu Principal

Grandezas Iniciais - Finais

Vazios e Consolidação

Célula de Consolidação - 1 (pequena)							
Di =	0,05	m			A =	1,96E-03	m <sup>2</sup>
H =	0,02	m			Vi =	3,93E-05	m <sup>3</sup>
					Peso do Pistão =	0,54	kgf

Peso da célula de consolidação (início) = 4407 g

Unidade de	Carga Inicial	Ciclos de Carga					
kPa	5,00	10,00	20,00	40,00	80,00	160,00	320,00
N (N)	9,82	19,63	39,27	78,54	157,08	314,16	628,32
N (kgf)	1,00	2,00	4,00	8,01	16,02	32,03	64,07
Placas (kgf)	0,10	0,20	0,40	0,80	1,60	3,20	6,41

Unidade de	Carga Inicial	Ciclos de Carga					
kPa	5,00	12,00	25,00	50,00	100,00	200,00	400,00
N (N)	9,82	23,56	49,09	98,17	196,35	392,70	785,40
N (kgf)	1,00	2,40	5,01	10,01	20,02	40,04	80,09
Placas (kgf)	0,10	0,24	0,50	1,00	2,00	4,00	8,01

Unidade de	Carga Inicial	Ciclos de Carga					
kPa	27,67	52,65	102,59	202,48	402,27	801,83	1600,96
N (N)	54,34	103,37	201,44	397,58	789,85	1574,39	3143,48
N final (kgf)	5,54	10,54	20,54	40,54	80,54	160,54	320,54
Pistão (kgf)	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54
N (kgf)	5,00	10,00	20,00	40,00	80,00	160,00	320,00
Placas (kgf)	0,50	1,00	2,00	4,00	8,00	16,00	32,00

Unidade de	Carga Inicial						
kPa	3199,22	6245,91	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70
N (N)	6281,66	12263,81	5,30	5,30	5,30	5,30	5,30
N final (kgf)	640,54	1250,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54
Pistão (kgf)	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54
N (kgf)	640,00	1250,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Placas (kgf)	64,00	125,00					

M. Inicial

Ciclos Carga (Pequena)

Ciclos Carga (Média)

Ciclos Carga (Grande)

M. Principal

Grandezas Iniciais-F

Figura 62 - Cálculo das abas do ciclo de carga (pequena, média ou grande). (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

A aba “menu principal” da planilha tem como objetivo permitir ao usuário preencher todos os dados da amostra de solo necessários, são:

- Densidade das partículas;
- Peso da célula de consolidação (início);
- Peso da célula de consolidação + Solo (início);
- Peso da célula de consolidação + Solo (fim);
- Peso da célula de consolidação (fim);
- Altura do assentamento (fim);
- Teor em água final:
  - Peso do recipiente;
  - Peso do recipiente + solo húmido;
- Peso do recipiente + solo seco.
- Tipo/Nome da amostra;
- Localização da retirada da amostra;
- Altura da amostra.

Caso seja necessário também disponibilizar a função para adicionar o ficheiro de dados gerados pelo equipamento de ensaio, deve-se clicar em “inserir arquivo do ensaio edométrico”, como indica na Figura 63.

**INSERIR DADOS ENSAIO EDMÉTRICO**

\* Etapa para inserir dados necessários na obtenção da resolução do ensaio!

### Grandezas Iniciais - Finais

Densidade das partículas G = 2,75

Massa da célula de consolidação (início) = 4407,4 g

Massa da célula de consolidação + Solo (início) = 4595,6 g

Massa da célula de consolidação + Solo (fim) = 4610,6 g

Massa da célula de consolidação (fim) = 4415,8 g

DH (fim) = 1,793 mm

Teor em água final w <sub>fp</sub>	
Peso recipiente =	347,90 g
Peso recipiente + solo húmido =	560,68 g
Peso recipiente + solo seco =	505,00 g

### Descrição da Amostra de Solo

Tipo / Nome da amostra = Edómetro 3 Solo Silto Argiloso / Localização da retirada da amostra = Empresa Faurecia

Altura amostra (mm) = 20

Selecione o botão caso seja necessário atualizar o ficheiro de dados gerados pelo equipamento do Ensaio Edométrico

**Inserir Arquivo do Ensaio Edométrico**

M. Inicial
Ciclos Carga (Pequena)
Ciclos Carga (Media)
Ciclos Carga (Grande)
**M. Principal**
Grandezas Iniciais-Finais
Vazios e

Figura 63 - Dados a ser preenchido na aba menu principal. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

Na aba “grandezas iniciais – finais”, os dados já inseridos na aba “menu principal” serão automaticamente preenchidos nas células específicas dessa aba. Quanto às células referentes aos “ciclos de carga (pequena, média e grande)” será marcada com um “X” a que anteriormente foi selecionada, isso porque, quando o usuário seleciona o tipo de ensaio no botão escolhido na aba “menu inicial” faz automaticamente referência entre os dois separadores, ver Figura 64.

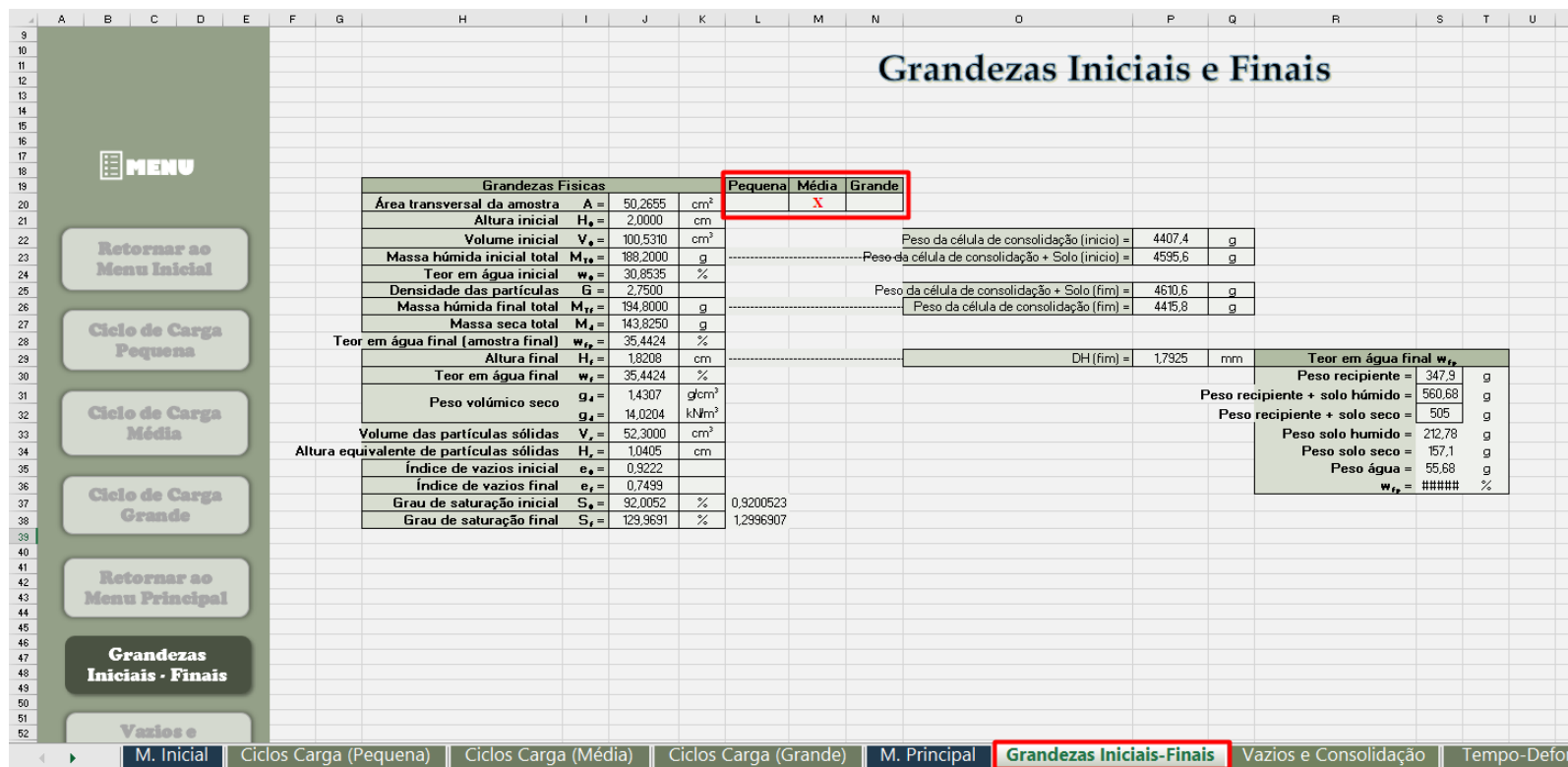


Figura 64 - Dados preenchido na aba grandeza iniciais – finais. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

No separador “vazios e consolidação”, conforme a Figura 65, permite obter os resultados da variação do índice de vazios versus tensão efetiva vertical aplicada ao provete durante a realização de todos os estágios de carga do ensaio edométrico. Assim, nesse separador é apresentada uma tabela que na primeira coluna apresenta a “carga aplicada (kPa)”, é a pressão aplicada durante o ensaio para cada estágio de carga aplicado. Na segunda coluna, é apresentado o “deslocamento final (mm)”, preenchido automaticamente, são os valores da deformação final no fim de cada estágio de carga.

Com essas duas colunas, é possível obter o índice de vazios em cada estágio de carga e posteriormente traçar/obter o gráfico de compressibilidade edométrico do solo. Com esse gráfico, é possível determinar o índice de compressibilidade, índice de recompressibilidade da amostra ensaiada e também obter a tensão de pré-consolidação do solo.

Após o preenchimento das colunas, o usuário necessita clicar no botão “Atualizar”, para gerar o gráfico referente aos valores inseridos na tabela.



Dessa forma, o usuário consegue preencher, inserir os dados solicitados pelo arquivo de cálculo otimizado, utilizando uma forma mais automatizada, e consegue-se obter os resultados atrás referidos.

#### 4.3.4. VERIFICAÇÃO DO ARQUIVO DE CÁLCULO OTIMIZADO

Esse subcapítulo tem como objetivo avaliar as funcionalidades da aplicação da planilha de Excel otimizada, para isso serão usados os resultados de ensaios já realizados no Laboratório de Geotécnia do Instituto Politécnico de Bragança, dentre os resultados estão os estudos abordados no trabalho do Freitas (2018).

Abaixo na Tabela 6, mostram-se os parâmetros e a classificação de um dos solos utilizados no trabalho referido, assim o ficheiro de dados base a ser inserido na planilha de Excel, foi de um solo silto-argiloso da região de Bragança. Para mais pormenores sobre os resultados obtidos e do tipo de solo recomenda-se a leitura de Freitas (2018).

Tabela 6 - Dados do solo realizado durante o ensaio edométrico. (Elaborado pela autora, 2020)

Dados do solo ensaiado e utilizado para testar o arquivo de cálculo otimizado
Com base nos dados do trabalho do Freitas (2018) refere o <b>solo silto-argiloso</b> onde :
O solo tiveram muita presença de Solos Finos na sua composição.
A presença de solos finos promove um comportamento mecânico a retenção de água solos finos = plástico = coesivos.
A realização da amostra teve o solo lateralmente confinadas, e a cada 24 hrs duplicam o valor de tensão aplicado.
A célula utilizada no ensaio foi do tipo para Ciclo de Carga Média = 80 mm de diâmetro e 20 mm de altura
Teor de Humidade do Solo $\omega = 35,44\%$
Densidade das Partículas de Solo $G = 2,75$
Altura do Assentamento $\Delta H = 1,7925$ mm
Peso da célula de consolidação (início) = 4.407,4 g
Peso da célula de consolidação + Solo (início) = 4.595,6 g
Peso da célula de consolidação + Solo (fim) = 4.610,6 g
Peso da célula de consolidação (fim) = 4.415,8 g
Teor em água final $\omega_{fp}$ :
Peso recipiente = 347,9 g
Peso recipiente + solo húmido = 560,68 g
Peso recipiente + solo seco = 505 g

Dessa forma, para utilizar a planilha de cálculo otimizada foram seguidas as etapas mencionadas no subcapítulo anterior. Na Figura 66, é possível ver a duração da

operação de carregamento do ficheiro escolhido para a planilha de cálculo, o processo de carregamento demorou 30 minutos.

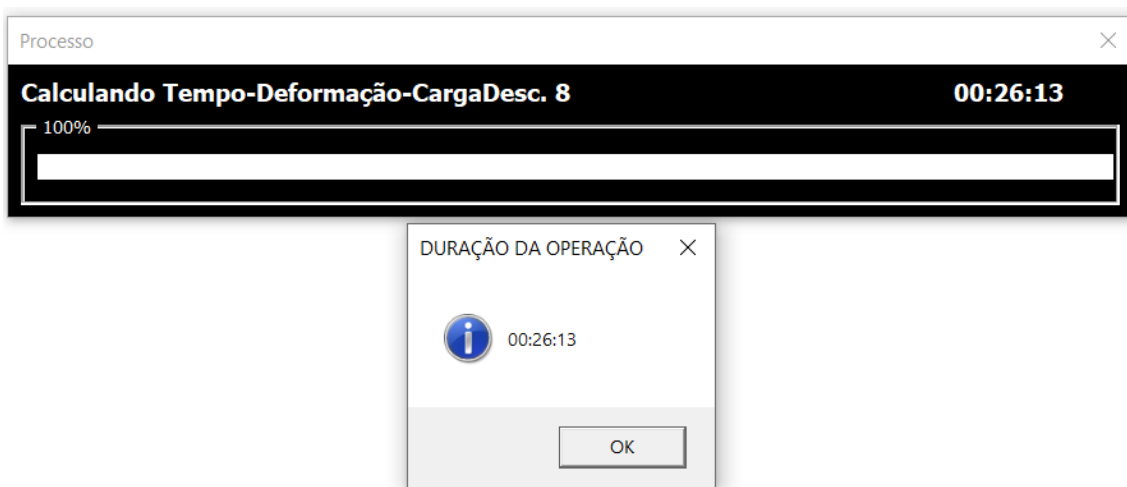


Figura 66 - Carregamento do edómetro 3, solo silto-argiloso. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

Nota-se que o arquivo inserido foi de um ensaio edométrico com cargas verticais de compressão aplicados ao solo de 0,5; 1; 2; 4; 8; 16; 32; 64 e 125 kg e a descompressão de 64; 32; 16 e 8 kg resultando na criação de 13 separadores na folha de Excel ver Figura 67, com a informação do tempo versus deformação vertical e acompanhado da variação do deslocamento vertical, conforme a Figura 68. Assim, foi criado um separador para cada estágio de carga aplicado ao solo, juntamente a representação dos gráficos deslocamento vertical (mm) versus a raiz do tempo, ver a Figura 69 um gráfico exemplo.



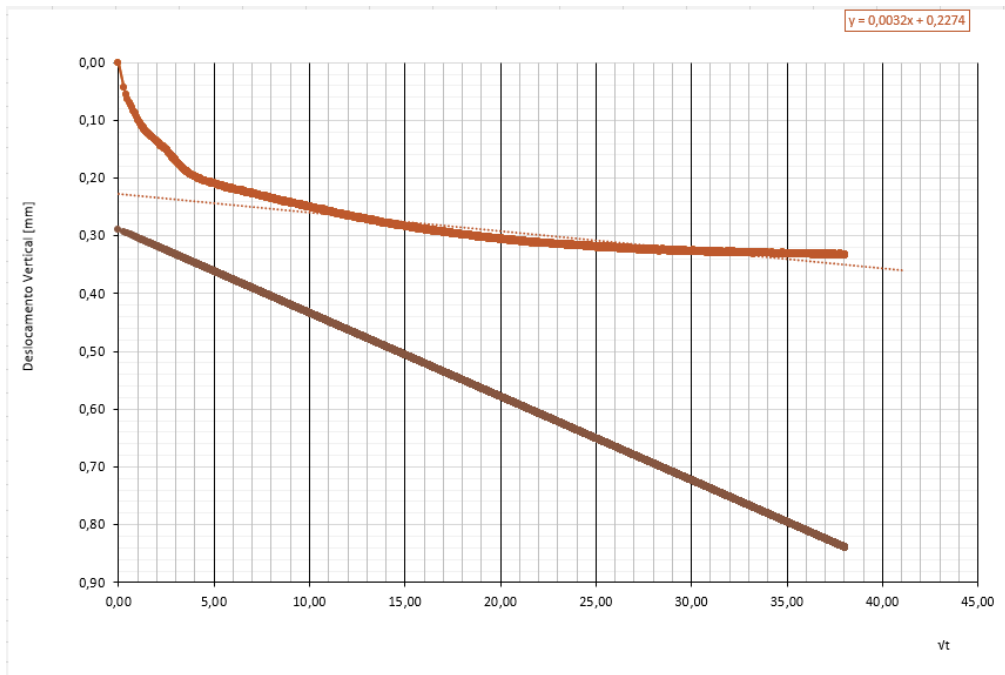


Figura 68 - Gráfico deslocamento vertical (mm) x  $\sqrt{t}$ . (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

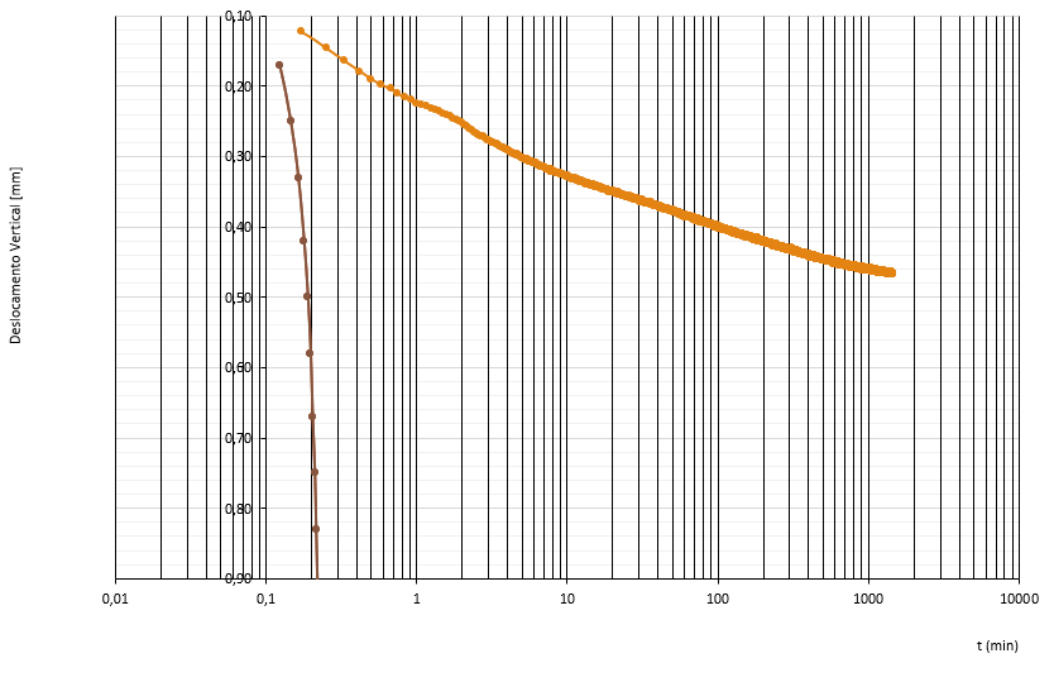


Figura 69 - Gráfico deslocamento (mm) x t (min). (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

Após, inserido o ficheiro de base na folha de Excel e efetuar a criação das abas conforme referido anteriormente, deve-se selecionar o “ciclo de carga (média)”, isso porque o exemplo selecionado para avaliação foi um ensaio realizado com a célula edométrica média (80mm), a Figura 70 indica esse procedimento.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
18									Unidade de Medida	Carga Inicial	Ciclos de Carga						Peso da célula de consolidação (início)= 4407,4 g				
19	<b>Ciclo de Carga Pequena</b>								kPa	5,00	10,00	20,00	40,00	80,00	160,00	320,00					
20									N (N)	25,13	50,27	100,53	201,06	402,12	804,25	1608,50					
21									N (kgf)	2,56	5,13	10,25	20,50	41,00	82,01	164,02					
22									Placas (kgf)	0,26	0,51	1,03	2,05	4,10	8,20	16,40					
23									Unidade de Medida	Carga Inicial	Ciclos de Carga										
24	<b>Ciclo de Carga Média</b>								kPa	5,00	12,00	25,00	50,00	100,00	200,00	400,00					
25									N (N)	25,13	60,32	125,66	251,33	502,65	1005,31	2010,62					
26									N (kgf)	2,56	6,15	12,81	25,63	51,26	102,51	205,02					
27									Placas (kgf)	0,26	0,62	1,28	2,56	5,13	10,25	20,50					
28									Unidade de Medida	Carga Inicial	Ciclos de Carga										
29	<b>Ciclo de Carga Grande</b>								kPa	12,42	22,17	41,68	80,70	158,74	314,82	626,98					
30									N (N)	62,41	111,44	209,51	405,64	797,92	1582,46	3151,55					
31									N final (kgf)	6,36	11,36	21,36	41,36	81,36	161,36	321,36					
32									Pistão (kgf)	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36					
33									N (kgf)	5,00	10,00	20,00	40,00	80,00	160,00	320,00					
34	<b>Avançar para Menu Principal</b>								Placas (kgf)	0,50	1,00	2,00	4,00	8,00	16,00	32,00					
35																	Unidade de Medida	Carga Inicial			
36	<b>Grandezas Iniciais - Finais</b>								kPa	1251,30	2441,41	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66					
37									N (N)	6289,73	12271,88	13,37	13,37	13,37	13,37	13,37					
38									N final (kgf)	641,36	1251,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36					
39									Pistão (kgf)	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36					
40									N (kgf)	640,00	1250,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					
41	<b>Vazios e Consolidação</b>								Placas (kgf)	64,00	125,00										
42																					
43																					
44																					
45																					
46																					
47																					
48																					
49																					

Figura 70 - Aba ciclo de carga (média). (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

A seguir, as Figuras 71 e 72 apresentam a introdução dos dados do solo como referido na Tabela 6, adicionada na aba do “menu principal”, observa-se que o carregamento do arquivo externo foi bem sucedida, portanto, não foi necessário repetir o processo em inserir dados externos.

\* Etapa para inserir dados necessários na obtenção da resolução do ensaio!

### Grandezas Iniciais - Finais

Densidade das partículas  $G = 2,75$

$\Delta H$  (fim) = 1,793 mm

Peso da célula de consolidação (início) = 4407,4 g

Peso da célula de consolidação + Solo (início) = 4595,6 g

Peso da célula de consolidação + Solo (fim) = 4610,6 g

Peso da célula de consolidação (fim) = 4415,8 g

Teor em água final wfp	
Peso recipiente =	347,9 g
Peso recipiente + solo húmido =	560,68 g
Peso recipiente + solo seco =	505 g

MENU PRINCIPAL

Retornar ao Menu Inicial

Ciclo de Carga Pequena

Ciclo de Carga Média

Ciclo de Carga Grande

Menu Principal

M. Inicial | Ciclos Carga (Pequena) | Ciclos Carga (Média) | Ciclos Carga (Grande) | **M. Principal** | Grandezas Iniciais-Finais | Vazios e Consolidação | Tempo-Deformação-CargaComp. 0,5

Figura 71 - Preenchimento da aba menu principal - parte 1. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)



Figura 72 - Preenchimento da aba menu principal - parte 2. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

A Figura 73 apresenta o preenchimento automático dos dados inseridos no “menu principal”, que compõem os cálculos referentes às “grandezas iniciais e finais”. Também, destaca-se que a escolha do tipo de “ciclo de carga” utilizada durante o ensaio está selecionada de forma correta, a mesma foi escolhida pelo usuário na aba do “menu inicial”.

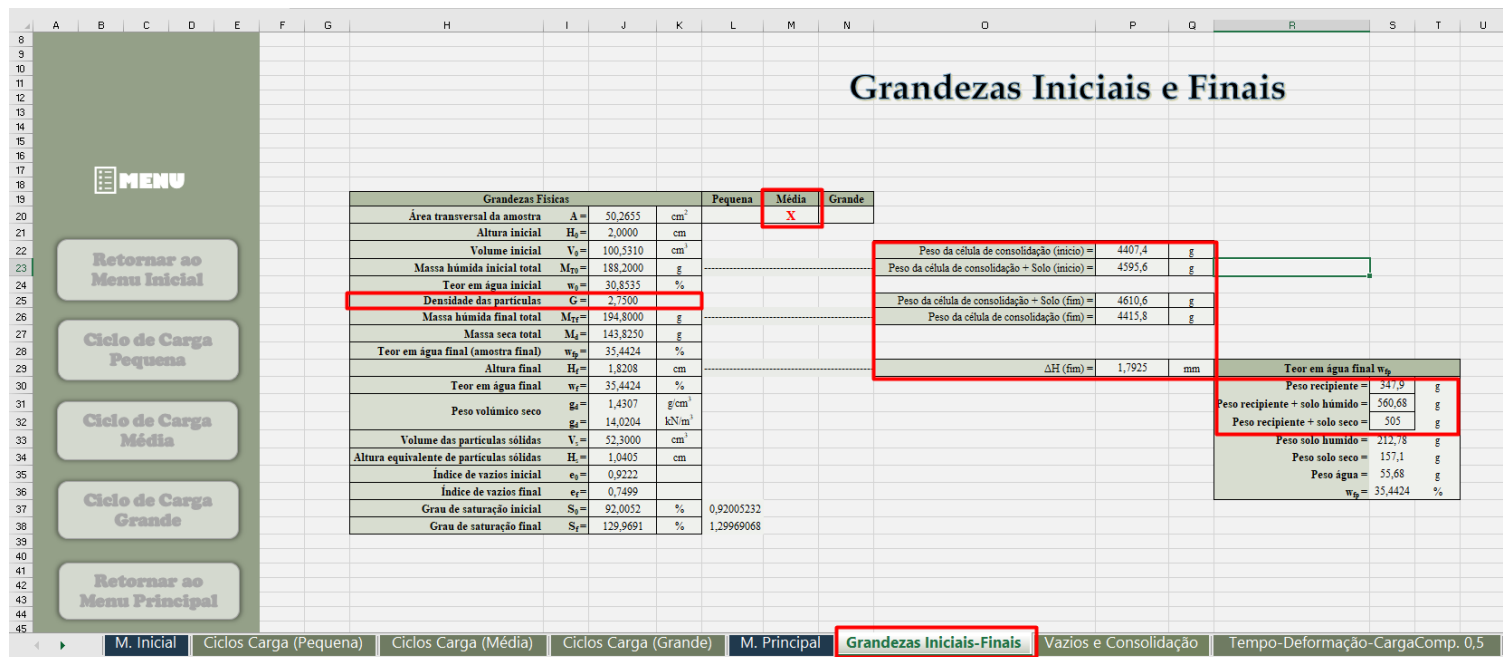
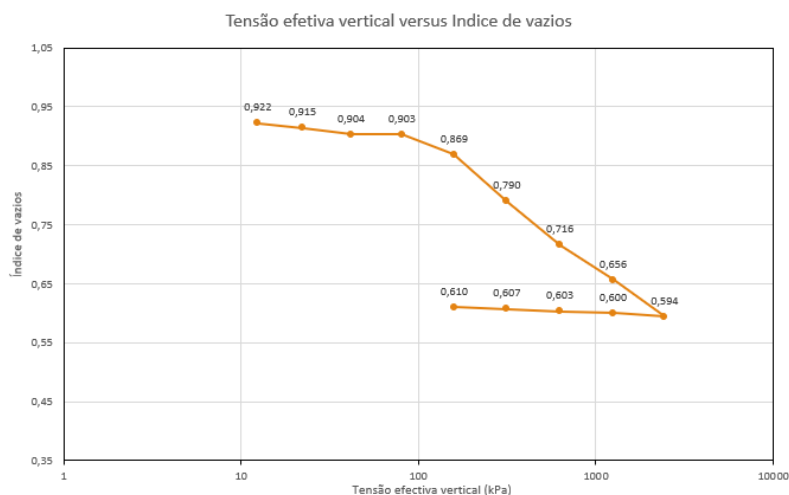


Figura 73 - Cálculos dos dados referente as grandezas iniciais e finais. (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

Na Figura 74, mostram-se os dados processados no separador “vazios e consolidação” onde é possível ver a variação do índice de vazios versus tensão efetiva vertical aplicada ao provete para todos os estágios de carga. Como já referido anteriormente, as duas primeiras colunas da tabela são preenchidas de acordo com os valores existentes nas abas “ciclo de carga (média)”, “tempo-deformação-cargacomp. --” e “tempo-deformação-cargadesc. --”, respectivamente para cada estágio de carga. Dessa forma, com esses valores, as restantes colunas da tabela são preenchidas automaticamente e assim determinam o índice de compressibilidade ( $C_c$ ) e índice de recompressibilidade ( $C_r$ ). No gráfico da Figura 75, é possível ver o gráfico da tensão efetiva versus índice de vazios e valores médios dos índice de vazios, de acordo com os resultados obtidos pela tabela.





**Valores médios dos Índice de Vazios  $e_i = 0,7452$**

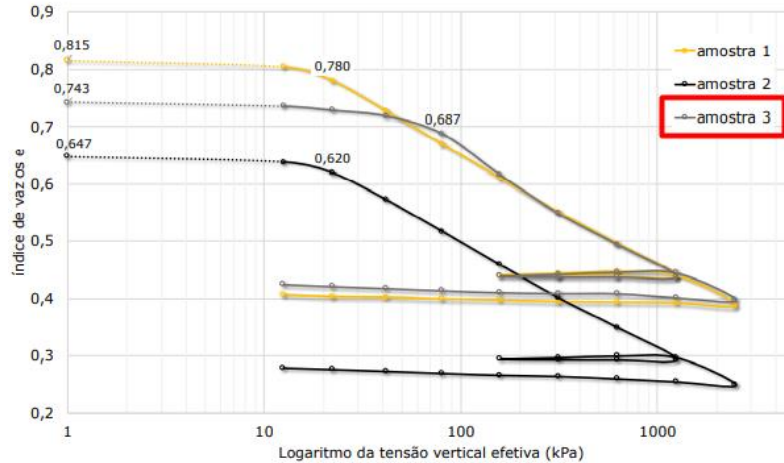
Figura 75 - Gráfico índice de vazios x tensão efetiva vertical (kPa). (Adaptado Laboratório ESTIG/IPB, 2020)

Os resultados do índice de compressibilidade de recompressibilidade obtidos pela folha de cálculo otimizada foram de 0,22 e 0,05, respectivamente. Esses valores estão de acordo com os obtidos por Freitas (2018) para o mesmo solo.

Mas, infelizmente ocorreram algumas divergências nos resultados finais, nota-se que o arquivo externo inserido no banco de dados não estava totalmente completo por faltar dados relacionados às cargas a descompressão, dessa maneira, ocorreram falhas nos resultados comparados decorrente a essa situação, tornando-as em resultados similares e não totalmente iguais. Nas Figuras 76 e 77, mostram-se os resultados obtidos por Freitas (2018), como o índice de compressibilidade, índice de recompressibilidade, gráfico da tensão efetiva versus índice de vazios e os valores médios dos índice de vazios.

Valor do Índice de Compressibilidade $C_c$	Valor do Índice de Recompressibilidade $C_r$
0,28	0,03

Figura 76 - Resultado comparado índice de compressibilidade  $C_c$  e índice de recompressibilidade  $C_r$ . (Freitas, 2018)



Quadro 5.7 Valores médios dos índice de vazios iniciais considerados  $e_0$ , relativos ao início do tramo de recompressão da curva edométrica.

Solo A	Solo B
0,7225	0,985

Figura 77 - Resultado comparado índices de vazios x log. da tensão vertical (kPa). (Freitas, 2018)

#### 4.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse capítulo, foi apresentado todo o componente prático elaborado no trabalho, foi possível demonstrar como obter os resultados gerados pelo equipamento edométrico após a realização do ensaio, apresentaram-se todas as informações que foram necessárias para construir a lógica de programação VBA e MACRO, também foram mencionadas as etapas de tratamentos importantes para deixar a planilha de cálculo em boas condições de uso, e possui explicações e instruções para usar planilha de cálculo otimizada.

Por fim, efetuou-se a verificação do arquivo de cálculo otimizado. Com esse teste nota-se que o arquivo se encontra em situação possível de utilização, os dados do solo e o ficheiro externo inserido na planilha mesmo por não estar totalmente completo obteve resultados semelhantes com os resultados registrado no trabalho de Freitas (2018), os pequenos erros ocorreram devido à falta de dados mencionados anteriormente, mas não implica a não utilização do arquivo otimizado. Assim, essa planilha já proporciona um bom desempenho ao ser utilizada, dando ao usuário uma maior facilidade e automatização para tratar grande parte dos dados após o ensaio.

## **CAPÍTULO 5**

### **5. CONCLUSÕES**

#### **5.1. CONCLUSÃO FINAL**

O objetivo desse trabalho foi detalhar a preparação e execução sobre estudos da consolidação em maciços terrosos com o Ensaio Edométrico, também a realização da otimização do arquivo de cálculo em Excel para auxiliar os usuários nos tratamentos de dados obtidos dos resultados do ensaio, fornecendo maior praticidade e menores erros utilizando-se planilhas mais automáticas para a realização dos cálculos necessários para a obtenção dos parâmetros de compressibilidade do solo, após o ensaio. Assim, esses recursos auxiliarão em futuras pesquisas que sejam realizadas no Laboratório de Geotecnia do Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e Gestão.

Esse trabalho seguiu a norma brasileira sobre Solos de Adensamento do DNER-IE 005/94 e a internacional ASTM D2435 / D2435M - 11(2020) Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading, para apresentar o processo de execução do ensaio edométrico, e para realizar e otimizar o arquivo de cálculo em Excel. Para a otimização da folha de Excel, utilizaram-se recursos da linguagem de programação VBA (Visual Basic for Applications) e Macros em Excel. Dessa forma, podem-se destacar os pontos positivos dessa pesquisa como a oportunidade em conhecer e poder criar lógica de programação, a experiência de conectar arquivos externos atualizados com o arquivo principal e que possibilitem obter no final todos os resultados e parâmetros necessários sobre a consolidação ou assentamento dos solos a partir do arquivo de cálculo em Excel automatizado.

Nesta pesquisa, não foi possível realizar o experimento do ensaio edométrico no Laboratório de Geotecnia do Instituto Politécnico de Bragança, devido a Pandemia da Covid-19 em 2020, desde então tornou-se impossível o uso do laboratório na unidade escolar onde está instalado o equipamento para o ensaio. Assim, para analisar e testar o arquivo otimizado utilizaram-se dados do experimento do ensaio edométrico dos estudos abordados no trabalho de Freitas (2018), dessa maneira, foi possível testar se o arquivo otimizado estava em boas condições de uso e se correspondia como esperado para obter resultados finais de forma mais automática possível.

O arquivo automatizado pode apresentar alguns pontos não agradáveis ao usuário. Dentre eles: o tempo de espera longo para carregar todo ficheiro externo emitido pelo ensaio, o mesmo ficheiro externo antes de ser inserido deve ser convertido para o tipo de formato de csv para xlsb.

A folha otimizada ainda não permite a determinação do coeficiente de consolidação vertical para cada estágio de carga automaticamente. Esse parâmetro pode ser obtido por dois métodos, o Método de Casagrande e o Método de Taylor. Assim esse parâmetro ainda é calculado de maneira semi-automática, como na primeira versão do software que serviu de base para a nova versão.

Desse modo, conclui-se que o arquivo de cálculo em Excel otimizado está apto para o uso, servindo-se como uma ferramenta de cálculo em auxílio ao usuário que pretende obter resultados após realizar o ensaio edométrico de maciços terrosos. Executa a maior parte de todo o tratamento dos dados e permite obter de forma confiável o índice de compressibilidade ( $C_c$ ) e índice de recompressibilidade ( $C_r$ ), através das planilhas automatizadas.

## **5.2. SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS**

Ao longo de todo trabalho realizado, podem-se observar alguns assuntos e tópicos que também podem ser explorados em base de estudos futuros para uma pesquisa acadêmica, levando-se em conta conteúdos que continuem ou sejam similares ao tema abordado nesse trabalho, assim, como:

I. No mesmo arquivo de cálculo em Excel otimizado, continuar com o processo de automatização permitindo calcular de forma totalmente automática o coeficiente de consolidação vertical, para cada estágio de carga, tanto pelo Método de Taylor e Método de Casagrande.

II. Outro ponto interessante, será permitir com que o ficheiro otimizado em Excel receba diretamente arquivo csv para além do xlsb. O processo de inserir o ficheiro de dados do ensaio edométrico na folha de Excel, pode levar muito tempo até que o carregamento termine, dessa forma, estudar e tentar encontrar uma solução para que esse período de tempo seja o menor possível.

III. Também seria interessante, realizar esses mesmos cálculos no arquivo de cálculo em Excel em um outro tipo de software, alguns exemplos seria utilizar o Programa Minitab ou Programa Action Stat, voltados para cálculos estatísticos avançados, que também se enquadram para esse tipo de tema.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM (2020) D2435 / D2435M – 11: Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading. West Conshohocken, PA, USA.
- Battisti, J. (2016) - Domine Macros e Programação VBA no Excel 2016 - com Exemplos Práticos e Úteis - Passo a Passo. Editora Instituto Alpha, BR.
- Brito, W.D.L., Gomes, C. (2018) - Fundação e Geotecnia: Métodos de investigação geológica e geotécnica da fundação de barragens de concreto. Unidade de Ensino Superior Dom Bosco, São Luís, Maranhão, BR.
- Cerqueira, A. M. S. (2016) - Consolidação de solos através de estacas de brita. O caso de estudo de Kyebando no Kampala Northern Bypass (Uganda). Dissertação de Mestrado em Engenharia Geológica. Universidade de Aveiro Departamento de Geociências, Aveiro, PT.
- Chavão, A. O, Sieira, A. C. C. F, Lima, A. P. (2016) - Avaliação da eficiência da técnica de consolidação profunda radial CPR Grouting no tratamento de solos compressíveis. COBRAMSEG - XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, BR.
- Chrystello, A. C. (2017) - Avaliação de curvas de calibração do método do papel filtro tipo Whatman nº42 utilizadas para estimar sucção matricial em solos não saturados. Dissertação de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Espírito Santo, BR.
- Contenco, (2020) - Acessórios para ensaios. Disponível em: <https://contenco.com.br/>. BR.
- Cunha, C. C., Costa, E. S., Pimentel, J. R. (2018) - Adensamento e compactação dos solos. Trabalho da disciplina Mecânica dos Solos II. Faculdade Dom Luiz de Orleans e Bragança, Ribeira do Pombal, Bahia, BR.
- Delgado, D. T. (2020) - Apostila curso Excel para Especialistas. Doutores do Excel - Consultoria e Treinamento. Santo Amaro, São Paulo, BR.
- Das, B. M. (2007) - Fundamentos de engenharia geotécnica. Tradução All Tasks, revisão técnica Pérsio Leister de Almeida Barros, São Paulo. BR. Cap. 10 Pág. 244, 6º edição.
- Domínio Sistema Ltda. SQL (2009) - Introdução a SQL para o Domínio Gerador de Relatórios. Centro de Treinamento Domínio. Criciúma, Santa Catarina, BR.
- DNER - IE 005/94. (1994) - MT - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Instrução de Ensaio - Solos Adensamento. BR.
- Fernandes, M. M. (2016) . Mecânica dos solos - Introdução à Engenharia Geotécnica. PT. Vol. 2, Pág. 108 - 117.

- Fernandes, M. M. (2011) - Mecânica dos solos, conceito e princípios fundamentais. PT. Vol. 1, Cap. 2 Pág. 121, Cap. 4 Pág. 233.
- Fernandes, M. M. (2016) - Mecânica dos solos, conceito e princípios fundamentais. PT. Vol 2, Cap. 2 Pág 92.
- Freitas, B. C. F. A. (2018) - Caracterização Mecânica de um Solo Fino. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Instituto Politécnico de Bragança. PT.
- Gandaio, J. E. P. (2012) - Estudo da consolidação em solos areno-siltosos com recurso à célula de Rowe. Comparação com ensaios edométricos tradicionais. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade de Nova de Lisboa, PT.
- ESTIG/IPB, Laboratório de Engenharia Mecânica do Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e Gestão - PT. 2018.
- Lier, Prof. Q. J. V. (2016) - Cálculo de alguns parâmetros físicos do solo. LCE / ESALQ / USP. BR.
- Lopes, S. P. G. (2014) - Validação do compactador de Harvard no estudo da compactação de solos. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. PT.
- Marangon, Prof. M. (2018) - Mecânica dos solos II - Compressibilidade e adensamento dos solos. Conteúdo da disciplina Mecânica dos Solos II. Faculdade de Engenharia - NuGeo/Núcleo de Geotecnia. Juiz de Fora, BR. Cap. 3, Pág. 61–93.
- Maranhão, H. J. O. (2008) - Consolidação em solos moles, uma análise comparativa. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade de Aveiro. PT.
- Matest, (1990) - Manual Equipamento - Ensaio Edométrico. Material testing equipment.
- Matest, (2020) - Equipamentos de ensaio edométrico. Disponível em: <https://www.matest.com/en/soil-testing-equipment>.
- Mendes, E. M. A. (2016) - O Fenómeno de consolidação na prática laboratorial. Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de Mestre em Engenharia Civil. Universidade do Minho. PT.
- Mendes, M. M. S. C. S. (2011) - Estudo de modelação da consolidação acelerada por drenos verticais tomando em consideração a fluência do terreno. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico Universidade Técnica de Lisboa.
- Moreira, M. M. P. (2011) - Capacidade de carga em fundações superficiais. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade da Beira Interior. covilhã, pt.
- Netto, Y. A. (2006) - Estudo experimental das características de compressibilidade e adensamento de uma argila mole. Dissertação de Mestrado em Ciências de Engenharia Civil em Geotecnia. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, BR.

- Palmeira, R. A. (2020) - Estudo do comportamento mecânico de uma areia-siltosa na região de Bragança : ensaio triaxial. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Instituto Politécnico de Bragança. PT.
- Gonçalves, J., Batista, J., Paula, M., César, M. B. (2017) - One dimensional consolidation properties of solid using incremental loading test: experimental setup based on a LABview Approach. Proceedings of the 7th International Conference on Mechanics and Materials in Design. PT.
- Pinto, C. S. (2006) - Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas. Versão 3ª edição, Oficina de Textos - São Paulo. São Paulo, BR. Cap. 2 Pag. 35, Cap. 10 Pág. 205, Cap. 11 Pág. 223.
- Riyis, M. T., (2019) - Edson Arakaki; Mauro Tanaka Riyis; Heraldo Luiz Giacheti. A importância da amostragem de solo de perfil completo (ASPC) para a investigação de alta resolução em áreas contaminadas. ABAS - Associação Brasileira de Água Subterrâneas. BR.
- Rodrigues, T. A. (2019) - Caracterização geológico - geotécnica de solos para aplicação em obra de reabilitação de via ferroviária. Dissertação de Mestrado em Geologia. Universidade do Porto. Porto, PT.
- Rodrigues, N. L. (2014) - Comparação entre os ensaios de adensamento realizados em equipamento convencional e em equipamento de DSS em argila mole. Projeto de Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro Escola Politécnica. Rio de Janeiro, BR.
- Serafim, S. M. (2017) - Análise das propriedades geotécnicas de um depósito de argila mole localizado às margens da BR-101 no Bairro do Curado - Recife/PE. Dissertação da Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Pernambuco. Pernambuco, BR.
- Silva, J. P. (2016) - Estudo comparativo de diversas técnicas de compactação laboratorial e suas implicações. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Coimbra, PT.
- Solotest, (2020) - Acessórios para ensaio. Disponível em: <https://www.solotest.com.br/novo/>. BR.

## **Anexo 1**

Construção do código para a  
Pasta de Trabalho no VBE

```
Private Sub Workbook_Open()  
On Error Resume Next  
Application.ScreenUpdating = False  
B.Activate  
Application.ScreenUpdating = True  
End Sub
```

## **Anexo 2**

Construção do código do SQL no VBE

## Option Explicit

```
' Cria a variáveis globais utilizadas em todo o projeto
Global cn As New ADODB.Connection
Global rs As New ADODB.Recordset
Global SQL As String
Global Caminho As String
Global Arquivo, Arquivos As String
Global Tabela As String
Global Modo As String
Global Check As String
Global Linha As Long
Global Coluna As Long
Global i As Long
Global Plan, Fase As String
Global Carga_Anterior, Carga_Atual As Single
Global Início, fim, Carga
Global Percentual As Single
Global limite As Long
Global WS_Count As Integer
Global Aba As Worksheet
```

```
Public Sub Conectar() 'Procedimento que executa instruções de conexão SQL
'Se durante durante a execução da instrução for detectado erro sistema ignora
'On Error Resume Next
```

```
' Propriedades de conexão SQL
With cn
    Servidor de conexão a arquivos Excel
    .Provider = "Microsoft.ACE.OLEDB.12.0"
    Endereço do arquivo a ser conectado
    .ConnectionString = Caminho & Arquivo
    Tipo de arquivo a ser conectado & regra de cabeçalhos
    .Properties("Extended Properties") = "Excel 12.0 XML;HRD=NO"
    Dispara a abertura da conexão
    .Open
End With

' Propriedades que determinam transações dentro da conexão através da instrução SQL
If Modo = "CONSULTA" Then
    Transação do tipo consulta de dados
    rs.Open SQL, cn, adOpenStatic, adLockReadOnly
Else
    Transação do tipo gravação de dados
    rs.Open SQL, cn, adOpenKeyset, adLockOptimistic
End If

End Sub
```

```
Public Sub Desconectar() 'Procedimento que executa instruções que desconectam o SQL
'Se durante durante a execução da instrução for detectado erro sistema ignora
On Error Resume Next
' Encerra a transação
rs.Close
```

Mod\_SQL - 2

```
' Encerra a conexão  
  cn.Close  
' Limpa as variáveis  
  Set rs = Nothing  
  Set cn = Nothing  
  SQL = Empty
```

End Sub

## **Anexo 3**

Construção do código para instruções  
Públicas e Privadas no VBE

## Option Explicit

```
Sub Diretorio_BD() 'Procedimento que executa instruções para captura o caminho do diretório
' Desliga a atualização automática de tela
Application.ScreenUpdating = False
' Oculta a tela do Excel
Application.Visible = False
' Desliga a atualização automática dos cálculos da planilha
Application.Calculation = xlCalculationManual

' Chama o procedimento que executa instruções de verificação do status do BD interno
Call Status_BD_Interno
' Se usuário não deseja sobrescrever o BD interno a operação é abortada
If Check = "Não" Then
    ' Desliga a atualização automática de tela
    Application.ScreenUpdating = True
    ' Oculta a tela do Excel
    Application.Visible = True
    ' Desliga a atualização automática dos cálculos da planilha
    Application.Calculation = xlCalculationAutomatic
    'Aborta a operação
    Exit Sub
' Fim da instrução se usuário não deseja sobrescrever o BD interno
End If
' Cria a variável como caixa de diálogo de arquivos
Dim CaminhoSelecioneado As FileDialog
' Configura a variável como caixa de diálogo para capturar o caminho do diretório
Set CaminhoSelecioneado = Application.FileDialog(msoFileDialogFolderPicker)
' Ajusta As propriedades da caixa de diálogo para captura do caminho do diretório
With CaminhoSelecioneado
    ' Configura o título da caixa de diálogo
    .Title = "Selecione o diretório do Banco de dados .xlsb"
    ' Impede o usuário de selecionar mais de um diretório
    .AllowMultiSelect = False
    ' Exibe o diretório padrão do Windows
    .InitialFileName = Application.DefaultFilePath
    ' Se a visualização dos diretórios não apresentar diretório o procedimento de incerra
    If .Show <> -1 Then Exit Sub
    ' Atualiza a variável "Caminho" para o diretório selecionado
    Caminho = .SelectedItems(1) & "\"
End With
' Limpa a configuração da variável
Set CaminhoSelecioneado = Nothing
' Chama o procedimento que executa a instrução para captura do Banco de dados
Call Arquivo_BD

' Fim do procedimento
End Sub
```

```
Sub Arquivo_BD() 'Procedimento que executa instruções para captura do nome do arquivo de banco de dados CSV
```

```
' Cria a varável como caixa de diálogo de arquivos
Dim ArquivoSelecioneado As FileDialog
' Configura a variável como caixa de diálogo para capturar o nome do arquivo de Banco de dados CSV
```

```
Set ArquivoSelecionado = Application.FileDialog(msoFileDialogFilePicker)
Ajusta As propriedades da caixa de diálogo para captura do arquivo CSV
With ArquivoSelecionado
    Configura o título da caixa de diálogo
    .Title = "Selecione o arquivo do Banco de dados .xlsb"
    Impede o usuário de selecionar mais de um arquivo
    .AllowMultiSelect = False
    Exibe o caminho do diretório selecionado anteriormente
    .InitialFileName = Caminho
    Se a visualização do(s) arquivo(s) não apresentar nenhum arquivo o procedimento se encerra
    If .Show <> -1 Then Exit Sub
    Atualiza a variável "Arquivo" para o Arquivo selecionado
    Arquivo = Right(.SelectedItems(1), (Len(.SelectedItems(1)) - Len(Caminho)))
End With
Limpa a configuração da variável
Set ArquivoSelecionado = Nothing
Atualiza etapa do processo
frmProcesso.Label1.Caption = "Determinando sequência de Cargas Aplicadas (kgf)"
Determina próxima operação
frmProcesso.TB_COD = 1
Exibe o Formulário de progresso
frmProcesso.Show

End Sub

Sub Status_BD_Interno() 'Procedimento que executa instruções de verificação do status do BD interno

    Se BD interno diferente de vazio dispara instruções de diálogo
    Call WorksheetLoopCount
    If Plan <> 0 Then
        Instrução de diálogo
        Check = MsgBox("BANCO DE DADOS INTERNO JÁ POSSUI DADOS!" & VBA.Chr(10) & VBA.Chr(10) & _
            "DESEJA SOBRESCREVE-LOS?", vbYesNo, "ATUALIZAR BD INTERNO")

        Se sim apaga o BD interno antes de importar novos dados
        If Check = vbYes Then
            Exclui as tabelas Tempos-Deformação do banco de dados interno sobrescrito
            Call WorksheetLoopDelete
        Else
            Se não atualiza a variável de checagem que aborta a operação de sobrescrição do Banco de dados interno
            Check = "Não"
        End If
    End If

End Sub

Sub SQC() 'Procedimento que executa instruções de verificação da sequência de Cargas Aplicadas (kgf)

    Captura Data/Hora do início da operação
    Início = Time

    Captura nome da tabela onde está o BD interno
    Tabela = Left(Arquivo, Len(Arquivo) - 5)
```

```
' Determina posição inicial dos dados na planilha
Linha = 1: Coluna = 1: i = 1
Instrução SQL para cópia de dados
SQL = "SELECT DISTINCT F9 FROM [" & Tabela & "$]"
Determinao modo de consulta
Modo = "CONSULTA"
Limpa tabela temporária
TMP.Rows.Delete
Chama a nonexão com o arquivo
Call Conectar
Repete as operações abaixo até o fim do arquivo consultado
Do Until rs.EOF
Determina número de dados conectados
limite = rs.RecordCount
Atualiza calculo da barra de progresso
Percentual = i / limite 'divide a quantidade feita pelo limite e a fração %
Captura Data/Hora do momento da operação
fim = Time
Atualiza duração do processo
frmProcesso.Label2.Caption = Format((fim - Início), "hh:mm:ss")
Atualiza a exibição da barra de progresso
AtualizaBarra Percentual
    Posiciona os dados nas linhas e colunas igual ao arquivo original
    For Coluna = 1 To Coluna + rs.Fields.Count - 1
        If IsNull(rs.Fields.Item(Coluna - 1)) = False Then TMP.Cells(Linha, Coluna) = rs.Fields.Item(Coluna - 1)
    Next Coluna
    Movimenta a consulta dentro da conexão ao arquivo
    rs.MoveNext
    Atualiza contador para progresso
    i = i + 1
    Atualiza calculo da barra de progresso
    Percentual = i / limite 'divide a quantidade feita pelo limite e a fração %
    Captura Data/Hora do momento da operação
    fim = Time
    Atualiza duração do processo
    frmProcesso.Label2.Caption = Format((fim - Início), "hh:mm:ss")
    Atualiza a exibição da barra de progresso
    AtualizaBarra Percentual
    Elimina linhas vazias
    If TMP.Cells(Linha, 1) = "" Then
        TMP.Cells(Linha, 1).Delete Shift:=xlUp
        Ajusta as posições sequenciais dos dados na planilha após exclusão de linhas
        Linha = Linha - 1
    Else
        Reexibe Tempo-Deformação modelo
        TDF.Visible = xlSheetVisible
        Ativa Tempo-Deformação modelo
        TDF.Activate
        Cria cópia de Tempo-Deformação modelo
        TDF.Copy Before:=TDF
        Renomeia cópia de Tempo-Deformação modelo conforme sequencia de Cargas Aplicadas (kgf)
        ActiveSheet.Name = TDF.Name & "-CargaComp. " & TMP.Cells(Linha, 1)
        Ativa Tempo-Deformação modelo
        TDF.Activate
```

```
'      Cria cópia de Tempo-Deformação modelo
      TDF.Copy Before:=TDF
      Renomeia cópia de Tempo-Deformação modelo conforme sequencia de Cargas Aplicadas (kgf)
      ActiveSheet.Name = TDF.Name & "-CargaDesc. " & TMP.Cells(Linha, 1)
      Oculta Tempo-Deformação modelo
      TDF.Visible = xlSheetVeryHidden
End If
Determina as posições sequenciais dos dados na planilha
Coluna = 1: Linha = Linha + 1
Dispara a repetição até o fim do arquivo consultado
Loop
Chama a instrução que desconecta o arquivo consultado
Call Desconectar
Desabilita o alerta de exclusão de abas
Application.DisplayAlerts = False
Exclui aba Tempo-Deformação-Carga Máxima para o intervalo de Descompressão
Worksheets(TDF.Name & "-CargaDesc. " & WorksheetFunction.Max(TMP.Range("A:A"))).Delete
Reabilita o alerta de exclusão de abas
Application.DisplayAlerts = True
Chama o procedimento para preencher as planilhas de cliço de cargas
Call Ciclos_de_Carga
Atualiza etapa do processo
frmProcesso.Label1.Caption = "Importando dados do arquivo de banco de dados xlsb"
Determina próxima operação
frmProcesso.TB_COD = 2
Atualiza cálculo da barra de progresso
Percentual = 0 'divide a quantidade feita pelo limite e a fração %
Captura Data/Hora do momento da operação
fim = Time
Atualiza duração do processo
frmProcesso.Label2.Caption = Format((fim - Início), "hh:mm:ss")
Atualiza a exibição da barra de progresso
AtualizaBarra Percentual
End Sub

Sub INP() 'Procedimento que executa instruções para importação dos dados do arquivo de banco de dados xlsb
'Desliga a atualização automática de tela
Application.ScreenUpdating = False
'Oculta a tela do Excel
Application.Visible = False
'Desliga a atualização automática dos cálculos da planilha
Application.Calculation = xlCalculationManual

Determina posição inicial dos dados na planilha
Coluna = 1: i = 1
Determina Carga anterior e atual
Carga_Anterior = Empty: Carga_Atual = Empty
Determina quais as abas pertencem a fase inicial da importação dos dados
Fase = TDF.Name & "-CargaComp. "
Variável para checagem do início da fase de descompressão
Check = Empty
Instrução SQL para cópia de dados
```

```

SQL = "SELECT * FROM [" & Tabela & "$]"
Determina modo de consulta
Modo = "CONSULTA"
Chama a nonexão com o arquivo
Call Conectar
Repete as operações abaixo até o fim do arquivo consultado
Do Until rs.EOF
Determina número de dados conectados
limite = rs.RecordCount
Atualiza calculo da barra de progresso
Percentual = i / limite 'divide a quantidade feita pelo limite e a fração %
Atualiza a exibição da barra de progresso
AtualizaBarra Percentual
    Determina em qual aba "Tempo-Deformação-Carga " os dados deverão ser adicionados
    If IsNull(rs.Fields.Item(8)) = True Then
        GoTo Próximo
    Else
        Carga_Atual = rs.Fields.Item(8)
        Determina se o ciclo de carga é de compressão
        If IsEmpty(Carga_Anterior) = True Or Carga_Anterior < Carga_Atual Then Fase = TDF.Name & "-CargaComp. "
        Determina se o ciclo de carga é de descompressão
        If IsEmpty(Carga_Anterior) = False And Carga_Anterior > Carga_Atual Then Fase = TDF.Name & "-CargaDesc. "
        Plan = Fase & rs.Fields.Item(8)
        Atualiza etapa do processo
        frmProcesso.Label1.Caption = "Calculando " & Plan
        Atualiza calculo da barra de progresso
        Percentual = i / limite 'divide a quantidade feita pelo limite e a fração %
        Captura Data/Hora do momento da operação
        fim = Time
        Atualiza duração do processo
        frmProcesso.Label2.Caption = Format((fim - Início), "hh:mm:ss")
        Atualiza a exibição da barra de progresso
        AtualizaBarra Percentual
    End If
Determina a Descrição do Solo
If Sheets(Plan).Range("F19") = "" Then Sheets(Plan).Range("F19") = "P" & Right(Tabela, 1)
Determina a Carga aplicada
If Sheets(Plan).Range("F20") = "" Then Sheets(Plan).Range("F20") = rs.Fields.Item(8)
Determina em qual linha os dados deverão ser adicionados
Linha = WorksheetFunction.CountA(Sheets(Plan).Range("C26:C104875")) + 26
Posiciona os dados nas linhas e colunas igual ao arquivo original
For Coluna = 1 To Coluna + rs.Fields.Count - 1
    If Coluna <= 4 Then
        Determina os Segundos, Minutos, Horas e Tempo
        Sheets(Plan).Cells(Linha, Coluna + 2) = rs.Fields.Item(Coluna - 1)
    End If
    If Coluna = 5 Then
        Determina o Horário
        If Sheets(Plan).Range("F21") = "" Then Sheets(Plan).Range("F21") = rs.Fields.Item(Coluna - 1)
        Sheets(Plan).Cells(Linha, Coluna + 2) = rs.Fields.Item(Coluna - 1)
    End If
    If Coluna = 7 Then
        Determina o ?t (min0.5)
        Sheets(Plan).Cells(Linha, Coluna + 1) = rs.Fields.Item(Coluna - 1)
    End If

```

```

End If
If Coluna = 8 Then
    Determina o Deslocamento (10^-2 mm)
    Sheets(Plan).Cells(Linha, Coluna + 1) = rs.Fields.Item(Coluna - 1)
End If
Determina Calculos
Sheets(Plan).Cells(Linha, 10) = Sheets(Plan).Cells(Linha, 9) / 100 '(mm)
Sheets(Plan).Cells(Linha, 11) = Sheets(Plan).Cells(Linha, 10) - Sheets(Plan).Cells(26, 10) '?d (mm)
Sheets(Plan).Cells(Linha - 2, 17) = ((Sheets(Plan).Cells(20, 18) / 1.5) * Sheets(Plan).Cells(Linha, 8)) + Sheets(Plan).Cells(20, 20) '1.15 Desl. Vertical (mm)
Sheets(Plan).Cells(Linha - 2, 18) = Sheets(Plan).Cells(Linha, 11) 'Desl. Vertical (mm) = ?d (mm)
Sheets(Plan).Cells(Linha - 2, 19) = Sheets(Plan).Cells(Linha - 2, 17) - Sheets(Plan).Cells(Linha - 2, 18) '?'
Sheets(Plan).Cells(Linha - 2, 20) = Sheets(Plan).Cells(Linha, 8) '?t (min0.5)
Next Coluna

```

Próximo:

```

Carga_Anterior = Carga_Atual
Movimenta a consulta dentro da conexão ao arquivo
rs.MoveNext
Atualiza contador para progresso
i = i + 1
Atualiza calculo da barra de progresso
Percentual = i / limite 'divide a quantidade feita pelo limite e a fração %
Captura Data/Hora do momento da operação
fim = Time
Atualiza duração do processo
frmProcesso.Label2.Caption = Format((fim - Início), "hh:mm:ss")
Atualiza a exibição da barra de progresso
AtualizaBarra Percentual
Determina as posições sequenciais dos dados na planilha
Coluna = 1
Dispara a repetição até o fim do arquivo consultado
Loop
Chama a instrução que desconecta o arquivo consultado
Call Desconectar
Captura Data/Hora do final da operação
fim = Time
Determina próxima operação
frmProcesso.TB_COD = 3
Atualiza calculo da barra de progresso
Percentual = 100
Atualiza duração do processo
frmProcesso.Label2.Caption = Format((fim - Início), "hh:mm:ss")
Atualiza a exibição da barra de progresso
AtualizaBarra Percentual
Calcula e exibe duração da operação
MsgBox Format((fim - Início), "hh:mm:ss"), vbInformation, "DURAÇÃO DA OPERAÇÃO"
Selecione o tipo de ciclo para continuar
MsgBox "Selecione o TIPO DE CICLO DE CARGA", vbInformation, "INTERFACE"
Seleciona aba M. Inicial
B.Activate
Ocultar aba temporária
TMP.Visible = xlSheetVeryHidden

```

Religa a atualização automática de tela

```
Application.ScreenUpdating = True
' Reexibe a tela do Excel
Application.Visible = True
' Religa a atualização automática dos cálculos da planilha
Application.Calculation = xlCalculationAutomatic
' Fim do procedimento
End Sub
```

```
Sub AtualizaBarra(Percentual As Single) 'variável reservada para ser %
```

```
With frmProcesso 'With usa o frmprocesso para as ações abaixo
'sem ter que repetir o nome do objeto frmprocesso
```

```
  ' Atualiza calculo da barra de progresso
  If Percentual >= 1 Then Percentual = 1
```

```
  ' Atualiza o Título do Quadro que comporta a barra para %
  .FrameProcesso.Caption = Format(Percentual, "0%")
```

```
  ' Atualza o tamanho da Barra (label)
  .lblProcesso.Width = Percentual * (.FrameProcesso.Width - 10)
```

```
End With 'final do uso de frmprocesso diretamente
```

```
'Habilita o userform para ser atualizado
DoEvents
```

```
End Sub
```

```
Sub WorksheetLoopCount() 'Conta o número de réplicas da tabela Tempo-Deformação já com dados calculados
```

```
' Conta o número de tabelas dentro da planilha
```

```
WS_Count = ActiveWorkbook.Worksheets.Count
```

```
' Limpa a variável de Check
```

```
Plan = 0
```

```
' Vai em todas as tabelas verificando qual delas é uma tabela Tempo-Deformação já com dados calculados
```

```
For i = 1 To WS_Count
```

```
  If Left(ActiveWorkbook.Worksheets(i).Name, 16) = "Tempo-Deformação" And Len(ActiveWorkbook.Worksheets(i).Name) > 16 Then
```

```
    Plan = Plan + 1
```

```
  End If
```

```
Next i
```

```
End Sub
```

```
Sub WorksheetLoopDelete() 'Deleta réplicas da tabela Tempo-Deformação já com dados calculados
```

```
'Desliga alertas de exclusão definitiva de tabelas
```

```
Application.DisplayAlerts = False
```

```
'Laço de repetição pra atualizar o número de tabelas dentro da planilha depois de uma exclusão
```

```
Denovo:
```

```
' Conta o número de tabelas dentro da planilha
```

```
WS_Count = ActiveWorkbook.Worksheets.Count
```

```
For i = 1 To WS_Count
```

```
  If Left(ActiveWorkbook.Worksheets(i).Name, 16) = "Tempo-Deformação" And Len(ActiveWorkbook.Worksheets(i).Name) > 16 Then
```

```
    ActiveWorkbook.Worksheets(i).Delete
```

```
    GoTo Denovo
```

```
End If
Next i
Application.DisplayAlerts = True
End Sub

Sub Ciclos_de_Carga() 'Preenche as cargas do banco de dados nas abas de ciclos de carga

'Limpa cargas anteriores
Union(A1.Range("J37:P37"), A1.Range("J46:P46")) = Empty 'Pequena
Union(A2.Range("J37:P37"), A2.Range("J46:P46")) = Empty 'Média
Union(A3.Range("J37:P37"), A3.Range("J46:P46")) = Empty 'Grande
'Determina coluna inicial
Coluna = 10

For i = 1 To WorksheetFunction.CountA(TMP.Range("A:A"))
'   Ajusta Linha e Coluna pra transcrever as cargas utilizadas
If i <= 7 Then Linha = 37 Else Linha = 46:
If Coluna > 16 Then Coluna = 10
'   Transcreve as cargas para as abas de ciclos
A1.Cells(Linha, Coluna) = TMP.Cells(i, 1) 'Pequena
A2.Cells(Linha, Coluna) = TMP.Cells(i, 1) 'Média
A3.Cells(Linha, Coluna) = TMP.Cells(i, 1) 'Grande
Coluna = Coluna + 1
Next i

End Sub

Sub Vazios_Consolidação() 'Preenche as cargas aplicadas kPa dos ciclos de carga e Deslocamento final em Vazios_Consolidação

'Limpa cargas anteriores
C.Range("G28:H41") = Empty
'Determina coluna inicial
Coluna = 10

'Preenche valores de Compressão
'Determina qual é a fase
Fase = TDF.Name & "-CargaComp. "
For i = 1 To WorksheetFunction.CountA(TMP.Range("A:A"))
'   Ajusta Linha e Coluna pra transcrever as cargas utilizadas
If i <= 7 Then Linha = 32 Else Linha = 41:
If Coluna > 16 Then Coluna = 10
'   Transcreve as cargas das abas de ciclos Kpa
C.Cells(i + 27, 7) = Aba.Cells(Linha, Coluna)
'   Determina qual é a aba para importação dos valores de Deslocamento final
Plan = Fase & TMP.Cells(i, 1)
'   Transcreve valores de Deslocamento final
C.Cells(i + 27, 8) = Sheets(Plan).Cells(WorksheetFunction.CountA(Sheets(Plan).Range("J26:J1048576")) + 25, 10)
'   Determina próxima coluna
Coluna = Coluna + 1
Next i

'Preenche valores de Descompressão
'Determina qual é a fase
Fase = TDF.Name & "-CargaDesc. "
```

```
For i = 1 To WorksheetFunction.CountA(TMP.Range("A:A")) - 1
'   Transcreve as cargas das abas de ciclos Kpa
  C.Cells(WorksheetFunction.CountA(TMP.Range("A:A")) + i + 27, 7) = C.Cells(WorksheetFunction.CountA(TMP.Range("A:A")) - i + 27, 7)
'   Determina qual é a aba para importação dos valores de Deslocamento final
  Plan = Fase & TMP.Cells(WorksheetFunction.CountA(TMP.Range("A:A")) - i, 1)
'   Transcreve valores de Deslocamento final
  C.Cells(i + 27 + WorksheetFunction.CountA(TMP.Range("A:A")), 8) = Sheets(Plan).Cells(WorksheetFunction.CountA(Sheets(Plan).Range("J26:J1048576")) + 25, 10)
Next i

End Sub
```

```
Private Sub CommandButton1_Click()  
Application.ScreenUpdating = False  
' Atualiza formatos  
Range("C26:T26").Select  
Selection.AutoFill Destination:=Range("C26:T" & WorksheetFunction.CountA(Range("C26:C1048576")) + 26), Type:=xlFillFormats  
  
' Selecciona Gráfico 1  
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 1").Activate  
Application.CutCopyMode = False  
' Atualiza dados "Data" Eixo X  
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).XValues =  
    "=" & ActiveSheet.Name & "!"$H$26:$H$" & WorksheetFunction.CountA(Range("H26:H1048576")) + 26  
' Atualiza dados "Data" Eixo y  
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Values =  
    "=" & ActiveSheet.Name & "!"$K$26:$K$" & WorksheetFunction.CountA(Range("K26:K1048576")) + 26  
' Atualiza dados "Tangente" Eixo X  
ActiveChart.FullSeriesCollection(2).XValues =  
    "=" & ActiveSheet.Name & "!"$H$26:$H$" & WorksheetFunction.CountA(Range("H26:H1048576")) + 26  
' Atualiza dados "Tangente" Eixo y  
ActiveChart.FullSeriesCollection(2).Values =  
    "=" & ActiveSheet.Name & "!"$K$26:$K$" & WorksheetFunction.CountA(Range("K26:K1048576")) + 26  
' Atualiza dados "1.15Tangente" Eixo X  
ActiveChart.FullSeriesCollection(3).XValues =  
    "=" & ActiveSheet.Name & "!"$H$26:$H$" & WorksheetFunction.CountA(Range("H26:H1048576")) + 26  
' Atualiza dados "1.15Tangente" Eixo y  
ActiveChart.FullSeriesCollection(3).Values =  
    "=" & ActiveSheet.Name & "!"$Q$24:$Q$" & WorksheetFunction.CountA(Range("Q24:Q1048576")) + 24  
  
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 2").Activate  
Application.CutCopyMode = False  
' Atualiza dados "Data" Eixo X  
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).XValues =  
    "=" & ActiveSheet.Name & "!"$D$26:$D$" & WorksheetFunction.CountA(Range("D26:D1048576")) + 26  
' Atualiza dados "Data" Eixo y  
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Values =  
    "=" & ActiveSheet.Name & "!"$K$26:$K$" & WorksheetFunction.CountA(Range("K26:K1048576")) + 26  
' Atualiza dados "Tangente 1" Eixo X  
ActiveChart.FullSeriesCollection(2).Values =  
    "=" & ActiveSheet.Name & "!"$D$26:$D$" & WorksheetFunction.CountA(Range("D26:D1048576")) + 26  
' Atualiza dados "Tangente 1" Eixo Y  
ActiveChart.FullSeriesCollection(2).XValues =  
    "=" & ActiveSheet.Name & "!"$K$26:$K$" & WorksheetFunction.CountA(Range("K26:K1048576")) + 26  
' Atualiza dados "Tangente 2" Eixo X  
ActiveChart.FullSeriesCollection(3).Values =  
    "=" & ActiveSheet.Name & "!"$D$26:$D$" & WorksheetFunction.CountA(Range("D26:D1048576")) + 26  
' Atualiza dados "Tangente 2" Eixo X  
ActiveChart.FullSeriesCollection(3).XValues =  
    "=" & ActiveSheet.Name & "!"$K$26:$K$" & WorksheetFunction.CountA(Range("K26:K1048576")) + 26  
  
Application.ScreenUpdating = True  
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton1_Click()  
Application.ScreenUpdating = False  
' Selecciona Gráfico 1  
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 1").Activate  
Application.CutCopyMode = False  
' Atualiza dados Eixo X  
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).XValues = _  
    "=" & ActiveSheet.Name & "!" & "$G$28:$G$" & WorksheetFunction.CountA(Range("G28:G45")) + 27  
' Atualiza dados Eixo Y  
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Values = _  
    "=" & ActiveSheet.Name & "!" & "$L$28:$L$" & WorksheetFunction.CountA(Range("G28:G45")) + 27  
Application.ScreenUpdating = True  
End Sub
```

## **Anexo 4**

Construção do código para  
Macros simples no VBE

```
Sub carga_pequena()  
'  
' Selecciona aba carga_pequena  
'  
'  
Application.ScreenUpdating = False  
Set Aba = A1  
Call Vazios_Consolidação  
Aba.Activate  
Application.ScreenUpdating = True  
End Sub  
Sub carga_media()  
'  
' Selecciona aba carga_media  
'  
'  
Application.ScreenUpdating = False  
Set Aba = A2  
Call Vazios_Consolidação  
Aba.Activate  
Application.ScreenUpdating = True  
End Sub  
Sub carga_grande()  
'  
' Selecciona aba carga_grande  
'  
'  
Application.ScreenUpdating = False  
Set Aba = A3  
Call Vazios_Consolidação  
Aba.Activate  
Application.ScreenUpdating = True  
End Sub  
Sub A()  
Application.Visible = True  
Application.ScreenUpdating = True  
End Sub
```

## **Anexo 5**

Construção do código do Formulário no  
VBE

```
Private Sub UserForm_Activate()
```

```
'On Error Resume Next
```

```
'Configura a largura do lblProcesso para 0  
frmProcesso.lblProcesso.Width = 0
```

```
If TB_COD = 1 Then
```

```
' Chama o procedimento que executa instruções de verificação da sequência de Cargas Aplicadas (kgf)
```

```
Call SQC
```

```
End If
```

```
If TB_COD = 2 Then
```

```
' Chama o procedimento que executa instruções para importação dos dados do arquivo de banco de dados xlsb
```

```
Call INP
```

```
End If
```

```
If TB_COD = 3 Then
```

```
' Fecha o frmProcesso
```

```
Unload Me
```

```
End If
```

```
End Sub
```

Iniciando. Aguarde...

