

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA DE CÁLCULO  
PARA A VERIFICAÇÃO E ESTABILIDADE DE TALUDES  
NATURAIS**

**MÁRCIO VINÍCIUS DE CARVALHO**

Relatório Final de Projecto/Estágio Profissional apresentado à  
**Escola Superior de Tecnologia e de Gestão**  
**Instituto Politécnico de Bragança**

Para obtenção do grau de Mestre em  
**Engenharia da Construção**

**10/2022**

[folha em branco]

# **DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA DE CÁLCULO PARA A VERIFICAÇÃO E ESTABILIDADE DE TALUDES NATURAIS**

**MÁRCIO VINÍCIUS DE CARVALHO**

Relatório Final de Dissertação apresentado à  
Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança  
para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia da Construção no âmbito da  
Dupla Diplomação com a Universidade Evangélica de Goiás

Para obtenção do grau de Mestre em  
**Engenharia da Construção**

Orientador:

**Doutor António Miguel Verdelho de Paula**

**Doutor Manuel Teixeira Braz César**

**10/2022**

“Uma mente que se abre a uma nova ideia jamais volta ao seu tamanho original.”

Albert Einstein

## **AGRADECIMENTOS**

A presente dissertação de mestrado não poderia ter sido realizada sem o apoio e incentivo de diversas pessoas, no qual desejo deixar meus mais sinceros e profundos agradecimentos.

Em primeiro lugar agradeço a Deus, pois sem sua graça e benção não conseguiria enfrentar essa grande jornada e chegado tão longe.

Gostaria de agradecer ao meu orientador António Miguel Verdelho Paula, pelo incentivo, disponibilidade, dedicação e pelo suporte, servindo não só como orientador, mas também como inspiração de pessoa e como profissional.

Agradeço também a minha madrinha Fabiane, minha tia Flaviane e minha tina Gilma, e toda minha família por todo apoio, amor e carinho incondicional que me deram, que de longe sempre estiveram comigo, mesmo eu estando bastante ausente em diversos momentos.

Gostaria de agradecer especialmente meu avô Divino, que desde criança me incentivou a seguir o caminho certo, me ensinou e me ajudou a me tornar aquilo que sou hoje, serviu e ainda serve como inspiração de pessoa para tudo que faço, e mesmo não estando mais presente entre nós, espero que esteja orgulhoso.

Gostaria de agradecer à minha vó Neusa e minha mãe Flávia pelo extremo suporte e mesmo com todos os problemas e dificuldades fizeram o máximo para tentarem me ajudar, sem elas não teria conseguido. E agradeço também ao meu irmão Neto e minha irmã Rayanne, que são muito importantes para mim.

Agradeço também aos meus amigos, que me apoiaram e fizeram essa jornada um pouco mais divertida e tranquila, especialmente aos meus amigos Rafael, José Luiz, Gustavo, Matheus e todos os outros não citados.

E por último, agradeço a minha namorada Tatiana Bartoli, por ser meu suporte nessa fase da minha vida, me ajudando a superar questões emocionais e me aguentando todos os dias, se tornando bastante importante para mim.

## RESUMO

A utilização de programas de cálculo cresceu nas últimas décadas junto às novas tecnologias desenvolvidas, sendo um dos principais pilares na atualidade para diversas áreas profissionais, tendo uma grande influência também na área de engenharia geotécnica, onde a maioria dos estudos realizados por engenheiros são feitos com o auxílio tais programas. Acompanhando esse crescimento também se observa o mesmo processo para o estudo da verificação da estabilidade de taludes.

Pretende-se com o trabalho definir os métodos de cálculo de verificação de estabilidade para as várias condições envolventes para um talude infinito em condições drenadas, além do desenvolvimento de um programa de cálculo para verificação de estabilidade e soluções de estabilização, utilizando codificação VBA (*Visual Basic for Application*) para tal.

Foi utilizado o programa de cálculo desenvolvido para verificar a estabilidade de um talude infinito com características pré-definidas para vários solos, variando as características mecânicas dos mesmos e comparando os resultados gerados nas diversas condições. Foi comparado os resultados utilizando um coeficiente global de segurança de 1,5 com os coeficientes parciais de segurança definidos pelo Eurocódigo 7. Por fim, utilizou-se o programa para avaliar a estabilidade com aplicação de soluções de estabilização passivas (redução de altura) e ativas (pregagens e ancoragens) com parâmetros pré-definidos.

Concluiu-se que para os estudos realizados nas diversas condições a relação entre os coeficientes de segurança não apresentou variação, obtendo resultados idênticos para todas as análises de estabilidade. Porém quando aplicado soluções de estabilização ativas, as correlações entre coeficiente global de segurança e coeficientes parciais de segurança segundo o Eurocódigo 7 variaram de forma significativa entre os dois métodos, obtendo razões de até 1,9. Conclui-se também que, se comparadas entre si as soluções de estabilização, a ancoragem obteve um desempenho melhor em relação às pregagens, sendo necessário verificar condições de viabilidade para avaliar a melhor solução em questões práticas.

**Palavras-Chave:** Taludes Infinitos, Estabilidade de Talude, Soluções de Estabilização, Programa de Cálculo.

## **ABSTRACT**

The use of calculation programs has grown in recent decades along with the development of new technologies, being one of the main pillars nowadays for several professional areas, having a great influence also in geotechnical engineering area, where most of the studies carried out by engineers are done with support from these programs. Following this growth, the same process is also observed for the study of slope stability verification.

The work intends to define the Calculation Methods of Stability verification for the various similar conditions for an infinite slope in drained conditions, in addition to the development of a calculation program for stability verification and stabilization solutions, using VBA (Visual Basic for Application) coding for this.

The developed calculation program was used to verify the stability of an infinite slope with pre-defined characteristics for various soils, varying their mechanical characteristics and comparing the results generated under different conditions. The results were compared using an overall safety factor of 1.5 with the partial safety factors defined by Eurocode 7. Finally, the program was used to evaluate the stability with the application of passive stabilization solutions (height reduction) and active (pleats and anchoring) with pre-defined parameters.

Thus, was concluded that the studies made on different conditions, and the relationship between the safety coefficients did not show a variation, obtaining identical results for all stability analyses. Although, when active stabilization solutions were applied, the correlations between global safety factors and partial safety factors, according to Eurocode 7, varied significantly between the two methods, obtaining ratios of up to 1.9.

Also concluded that when comparing the stabilization solution to each other, the anchor had a better than the performance pleats, being necessary to verify the viability conditions to evaluate the better practical case solutions.

**Keywords:** Infinite Slopes, Slope Stability, Stabilization Solutions, Calculation Program.

# ÍNDICE

1 – INTRODUÇÃO .....	1
1.1 - ENQUADRAMENTO .....	1
1.2 – OBJETIVO .....	2
1.3 – ESTRUTURA.....	2
2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA – ESTABILIDADE DE TALUDES .....	4
2.1 – TALUDE .....	4
2.2 – EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA.....	4
2.2.1 - Desmoronamento.....	5
2.2.2 – Escorregamento.....	6
2.2.3 - Fluimento.....	6
2.3 – TIPOS DE TALUDES.....	7
2.4 – ESTABILIDADE DE UM TALUDE.....	9
2.5 – FATORES DE INFLUÊNCIA DA INSTABILIDADE DE UM TALUDE.....	11
2.5.1 – Água.....	11
2.5.2 – Sismo.....	13
2.5.3 – Cobertura Vegetal .....	15
2.6 – CASOS DE ESTUDO BIBLIOGRÁFICOS .....	15
3 – METODOLOGIA DE ANÁLISE DE TALUDES NATURAIS E DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE DE CÁLCULO .....	20
3.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	20
3.2 – MÉTODOS DE ANÁLISE CONSIDERADOS.....	20
3.2.1 – Talude Homogêneo sem Nível Freático .....	21
3.2.1.1 – Análise Estática .....	21
3.2.1.2 – Análise Dinâmica .....	23
3.2.2 - Talude Homogêneo com Nível Freático.....	25
3.2.2.1 – Análise Estática .....	25

3.2.2.2 - Análise Dinâmica.....	26
3.2.3 - Talude Heterogêneo sem Nível Freático .....	27
3.2.3.1 – Análise Estática .....	27
3.2.3.2 - Análise Dinâmica.....	29
3.2.4 - Talude Heterogêneo com Nível Freático.....	29
3.2.4.1 – Análise Estática .....	29
3.2.4.2 – Análise Dinâmica .....	30
3.3 – MÉTODOS DE VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA.....	30
3.3.1 – Coeficiente Global de Segurança.....	31
3.3.2 – Coeficiente Parcial de Segurança.....	32
3.4 – SOLUÇÕES DE ESTABILIZAÇÃO.....	34
3.4.1 – Redução da Altura.....	34
3.4.2 – Pregagens .....	36
3.4.3 – Ancoragens .....	38
3.5 – DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA .....	40
4 – CASOS DE ESTUDO E ANÁLISE .....	47
4.1 – DESCRIÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO.....	47
4.2 – RESULTADOS .....	48
4.2.1 – Talude Homogêneo sem Nível Freático – Análise Estática.....	48
4.2.2 – Talude Homogêneo sem Nível Freático – Análise Dinâmica.....	50
4.2.3 – Talude Homogêneo com Nível Freático – Análise Estática .....	51
4.2.4 – Talude Homogêneo com Nível Freático – Análise Dinâmica .....	53
4.2.5 – Coeficiente Global de Segurança.....	55
4.2.6 – Coeficiente Parcial de Segurança.....	57
4.3 – SOLUÇÕES DE ESTABILIZAÇÃO – CASOS DE ESTUDO.....	59
4.3.1 – Redução da Altura.....	59
4.3.1.1 – Resultado para Análise Estática .....	59

4.3.1.2 – Resultado para Análise Dinâmica .....	60
4.3.2 – Aplicação de Pregagens .....	62
4.3.3 – Aplicação de Ancoragens .....	65
4.4 – COMPARATIVO .....	68
5 – CONCLUSÕES.....	74
5.1 – Conclusões finais.....	74
5.2 – Desenvolvimentos Futuros .....	75
BIBLIOGRAFIA.....	76
ANEXO I – MANUAL DO PROGRAMA.....	80
ANEXO II – CODIFICAÇÃO UTILIZADA PARA VERIFICAÇÃO DE ESTABILIDADE .....	96
ANEXO III – CODIFICAÇÃO UTILIZADA PARA SOLUÇÕES DE ESTABILIZAÇÃO	102

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Reprodução talude de aterro e de corte. (Fonte: Autoral) .....	4
Figura 2 - Erosão de um solo. (Fonte: <a href="https://www.purawildlife.org/rainforests/">https://www.purawildlife.org/rainforests/</a> ).....	5
Figura 3- Representação desmoronamento. (Fonte: Gerra, 2008) .....	5
Figura 4 - Representação de escorregamento translacional e rotacional respectivamente. (Fonte: Guerra, 2008) .....	6
Figura 5 - Representação fluimento. (Fonte: Guerra, 2008, Adaptado).....	7
Figura 6 - Exemplo de um talude natural. (Fonte: <a href="http://bibocaambiental.blogspot.com.br">bibocaambiental.blogspot.com.br</a> ).....	8
Figura 7 - Representação talude infinito. (Fonte: Autoral) .....	9
Figura 8 – Variação temporal do factor de segurança. (Fonte: Popescu Adaptado).....	10
Figura 9 - Limite de Atterberg. (Fonte: Autoral) .....	12
Figura 10 - Escorregamento causado pela percolação. (Fonte: O Estado de São Paulo - 2011) .....	13
Figura 11 - Representação sismo. (Fonte: <a href="http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php/faqs/sismologia">http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php/faqs/sismologia</a> ).....	13
Figura 12 - Deslizamento de terra devido à um sismo ocorrido em 2001 em El Salvador na América Central. (Fonte: <a href="https://temblor.net/earthquake-insights/offshore-el-salvador-earthquake-strikes-location-of-deadly-m7-7-event-6712">https://temblor.net/earthquake-insights/offshore-el-salvador-earthquake-strikes-location-of-deadly-m7-7-event-6712</a> ).....	14
Figura 13 - Cobertura vegetal em taludes. (Fonte: <a href="https://www.nativaambiental.com.br">https://www.nativaambiental.com.br</a> ).....	15
Figura 14 - Deslizamento em Itajaí - Brasil. (Fonte: Garcia, 2018).....	16
Figura 15 - Vista do Topo do Talude. (Fonte: Martins, Nogueira e Carvalho, 2012) .....	16
Figura 16 - Perfil geológico-geotécnico interpretativo. (Fonte: Martins, Nogueira e Carvalho, 2012) .....	17
Figura 17 - Perfil do tipo de solução adotada. (Fonte: Martins, Nogueira e Carvalho, 2012). 17	
Figura 18 - Esquema de divisão do talude. (Fonte: H. Souza, R. Santos e W. Carneiro, 2014) .....	18
Figura 19 - Soluções adotadas para o talude. (Fonte: H. Souza, R. Santos e W. Carneiro, 2014) .....	19
Figura 20 – Representação talude infinito – Análise estática sem nível freático. (Fonte: Autoral) .....	21
Figura 21 - Representação talude infinito – Análise dinâmica sem nível freático. (Fonte: Autoral).....	23

Figura 22 - Representação talude infinito – Análise estática com nível freático. (Fonte: Autoral)	25
.....	25
Figura 23 - Representação talude infinito – Análise dinâmica com nível freático. (Fonte: Autoral)	26
.....	26
Figura 24 - Representação talude heterogêneo. (Fonte: Autoral)	28
.....	28
Figura 25 - Representação processo de identificação de local de instabilidade em taludes heterogêneos. (Fonte: Autoral)	28
.....	28
Figura 26 - Fluxograma do processo de cálculo para taludes heterogêneos. (Fonte: Autoral)	29
.....	29
Figura 27 - Princípios e Critérios EC7. (Fonte: Correia, Adaptado)	33
.....	33
Figura 28 – Representação de uma escavação. (Fonte: Matos Fernandes)	35
.....	35
Figura 29 – Representação de uma drenagem profunda. (Fonte:Matos Fernandes)	35
.....	35
Figura 30 - Fluxograma do processo de cálculo de redução de altura. (Fonte: Autoral)	36
.....	36
Figura 31 - Representação da aplicação de pregagens. (Fonte:Miguel de Paula)	37
.....	37
Figura 32 - Representação da área utilizada. (Fonte: Autoral)	38
.....	38
Figura 33 - Representação aplicação de ancoragem. (Fonte: Miguel de Paula)	39
.....	39
Figura 34 - Representação ângulo de ancoragem. (Fonte: Autoral)	40
.....	40
Figura 35 - Formulário VBA para preenchimento e cálculo. (Fonte: Autoral)	41
.....	41
Figura 36 - Apresentação dos resultados do programa de cálculo. (Fonte: Autoral)	43
.....	43
Figura 37 - Exemplo apresentação dos resultados no programa. (Fonte: Autoral)	44
.....	44
Figura 38 - Formulário VBA para análise dos resultados e aplicação de soluções de estabilidade. (Fonte: Autoral)	44
.....	44
Figura 39 - Seleção do tipo de solução no formulário. (Fonte: Autoral)	45
.....	45
Figura 40 - Formulário para preenchimento de informação dos parâmetros para aplicação de pregagem. (Fonte: Autoral)	45
.....	45
Figura 41 - Formulário para preenchimento de informação dos parâmetros para aplicação de ancoragem. (Fonte: Autoral)	45
.....	45
Figura 42 - Representação talude do estudo de caso. (Fonte: Autoral)	48
.....	48
Figura 43 - Resultados de tensões geradas pelo programa para talude homogêneo sem nível freático - Análise estática. (Fonte: Autoral)	49
.....	49
Figura 44 - Resultados de tensões geradas pelo programa para talude homogêneo sem nível freático - Análise estática. (Fonte: Autoral)	50
.....	50
Figura 45 – Resultados de tensões solicitantes para análise estática e dinâmica - Sem nível freático. (Fonte: Autoral)	51
.....	51

Figura 46-Resultados de tensões geradas pelo programa para talude homogêneo com nível freático - Análise estática. (Fonte: Autoral).....	52
Figura 47 - Tensões resistentes com e sem influência do nível freático. (Fonte: Autoral).....	53
Figura 48 - Resultados de tensões geradas pelo programa para talude homogêneo com nível freático - Análise dinâmica. (Fonte: Autoral) .....	54
Figura 49 - Tensões solicitantes para análise estática e dinâmica - Com nível freático. (Fonte: Autoral) .....	54
Figura 50 – Fator de segurança talude homogêneo sem nível freático utilizando coeficientes globais de segurança. (Fonte: Autoral) .....	55
Figura 51 - Resultados talude homogêneo com nível freático utilizando coeficientes globais de segurança. (Fonte: Autoral) .....	56
Figura 52 - Resultados talude homogêneo sem nível freático utilizando coeficientes parciais de segurança. (Fonte: Autoral) .....	57
Figura 53 - Resultados talude homogêneo com nível freático utilizando coeficientes parciais de segurança. (Fonte: Autoral) .....	58
Figura 54 - Relação fator de segurança x altura do talude em análise estática. (Fonte: Autoral) .....	60
Figura 55 - Relação fator de segurança x altura do talude em análise dinâmica. (Fonte: Autoral) .....	61
Figura 56 - Preenchimento de dados das pregagens no programa. (Fonte: Autoral).....	62
Figura 57 - Resultados da aplicação de pregagem em análise estática. (Fonte: Autoral) .....	63
Figura 58 - Resultados da aplicação de pregagem em análise dinâmica. (Fonte: Autoral) .....	64
Figura 59 - Fatores de segurança para análise estática e dinâmica. (Fonte: Autoral) .....	65
Figura 60 - Preenchimento de dados das ancoragens no programa. (Fonte: Autoral) .....	65
Figura 61 - Resultados da aplicação de ancoragem em análise estática. (Fonte: Autoral) .....	66
Figura 62 - Resultados da aplicação de ancoragem em análise dinâmica. (Fonte: Autoral)....	67
Figura 63- Comparativo de resultados talude homogêneo sem nível freático – Análise estática. (Fonte: Autoral) .....	69
Figura 64- Comparativo de resultados talude homogêneo sem nível freático – Análise dinâmica. (Fonte: Autoral) .....	69
Figura 65- Comparativo de resultados talude homogêneo com nível freático – Análise estática. (Fonte: Autoral) .....	70
Figura 66- Comparativo de resultados talude homogêneo com nível freático – Análise dinâmica. (Fonte: Autoral) .....	70

Figura 67 - Comparação de soluções ativas em análise estática. (Fonte: Autoral).....	72
Figura 68 - Comparação de soluções ativas em análise estática. (Fonte: Autoral).....	72

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de Movimentos de Massa. (Fonte: Guerra, 2008. Adaptado).....	5
Tabela 2 - Causas de Instabilização. (Fonte: Guerra, 2008. Adaptado).....	10
Tabela 3 - Tipos de taludes infinitos naturais que serão abordados. (Fonte: Autoral).....	21
Tabela 4 - Valores de r para o cálculo de Coeficientes sísmicos. (Fonte: EC8) .....	24
Tabela 5 - Incertezas que afetam o processo de dimensionamento. (Fonte: Miguel de Paula, Adaptado).....	31
Tabela 6 - Valores típicos de coeficientes globais de segurança usados na Engenharia Geotécnica (Fonte:Terzaghu & Peck, 1948, 1967).....	32
Tabela 7 - Lista dos Eurocódigos Estruturais. (Fonte: IPQ) .....	33
Tabela 8 - Tabela de coeficientes parciais de segurança de acordo com o EC7. (Fonte: NP EN 1997-1:2010).....	33
Tabela 9 - Vantagens e desvantagens utilização de pregagens. (Fonte: J. Lucas, 2016) .....	37
Tabela 10 - Codificações das equações utilizadas. (Fonte:Autoral) .....	42
Tabela 11 - Legenda da apresentação de resultados do programa. (Fonte: Autoral).....	43
Tabela 12 - Tabela com as características mecânicas dos solos que utilizados no estudo. (Fonte: Autoral).....	47
Tabela 13 - Resultados do programa de cálculo para talude homogêneo sem nível freático - Análise estática. (Fonte: Autoral) .....	48
Tabela 14 - Resultados do programa de cálculo para talude homogêneo sem nível freático - Análise dinâmica. (Fonte: Autoral).....	50
Tabela 15 - Resultados do programa de cálculo para talude homogêneo com nível freático - Análise estática. (Fonte: Autoral) .....	52
Tabela 16 - Resultados do programa de cálculo para talude homogêneo com nível freático - Análise dinâmica. (Fonte: Autoral).....	53
Tabela 17 - Relação análise dinâmica/estática para talude homogêneo sem nível freático aplicando coeficiente global de segurança. (Fonte: Autoral).....	55
Tabela 18 - Relação análise dinâmica/estática para talude homogêneo sem nível freático aplicando coeficiente global de segurança. (Fonte: Autoral).....	56
Tabela 19 - Relação análise dinâmica/estática para talude homogêneo sem nível freático aplicando coeficientes parciais de segurança segundo Eurocódigo 7. (Fonte: Autoral)...	57

Tabela 20 - Relação análise dinâmica/estática para talude homogêneo com nível freático aplicando coeficientes parciais de segurança segundo Eurocódigo 7. (Fonte: Autoral)...	58
Tabela 21 - Redução de altura feita pelo programa em análise estática. (Fonte: Autoral) .....	59
Tabela 22 - Resultados gerados com nova altura em análise estática. (Fonte: Autoral).....	59
Tabela 23 - Redução de altura feita pelo programa em análise dinâmica. (Fonte: Autoral)....	61
Tabela 24 - Resultados gerados com nova altura em análise dinâmica. (Fonte: Autoral) .....	61
Tabela 25 - Resultados gerados para solução de pregagem em análise estática. (Fonte: Autoral) .....	62
Tabela 26 - Resultados gerados para solução de pregagem em análise dinâmica. (Fonte: Autoral).....	63
Tabela 27 - Resultados para aplicação de pregagens. (Fonte: Autoral).....	64
Tabela 28 - Resultados gerados para solução de ancoragem em análise estática. (Fonte: Autoral) .....	66
Tabela 29 - Resultados gerados para solução de ancoragem em análise dinâmica. (Fonte: Autoral).....	67
Tabela 30 - Resultados para aplicação de ancoragens. (Fonte: Autoral) .....	68
Tabela 31 - Relações entre CPS/CGS para pregagens. (Fonte: Autoral).....	71
Tabela 32 - Relações entre CPS/CGS para ancoragens. (Fonte: Autoral) .....	71

# **1 – INTRODUÇÃO**

## **1.1 - ENQUADRAMENTO**

Os problemas de instabilização de taludes, seja natural ou construído pelo homem, aumentou bastante nos últimos anos, acompanhando junto ao crescimento habitacional e industrial, conduzindo assim a uma escassez de terrenos geotecnicamente estáveis, trazendo uma grande importância no âmbito de gestão e planejamento territorial.

Dos mais diversos acidentes naturais que ocorrem em todo mundo, a instabilização de taludes tem um impacto significativo, seja por quantidade ou pelo dano causado, justificando assim a necessidade de investigação de condições geológicas e geotécnicas de regiões com possíveis problemas de estabilidade. As investigações de condições de estabilidade ajudam na prevenção de deslizamentos.

São diversos fatores que influenciam o movimento de massa, como a inapropriada ocupação e utilização do solo, desmatamentos, mudanças de cursos de água e até precipitação em excesso. A quantificação e mapeamento desses fatores e ocorrência deles podem ajudar na prevenção e na proposta de possíveis estabilizações futuras.

A presente dissertação surge como base o desenvolvimento de um programa de cálculo para auxílio de verificação de estabilidade de taludes naturais além de implementações de soluções passivas e ativas para a sua estabilização.

Devido a existência de diversos tipos de taludes e métodos de cálculo, foi definido um em questão (taludes infinitos) e adaptado sua forma de cálculo para aplicação em vários casos para desenvolvimento do programa.

Há vários métodos de cálculo para a verificação de estabilidade de um talude, como método das Lamelas e método de Fellenius (movimento rotacional), método dos taludes infinitos e método de Culmann (movimento translacional), porém o tipo de movimento de massa que será abordado neste trabalho é o de deslizamento translacional, tendo como base o método dos taludes infinitos.

## 1.2 – OBJETIVO

O presente trabalho possui um conjunto de objetivos, no qual destaca-se apresentar e analisar taludes em diversas condições tendo como base o método dos taludes infinitos, aplicando esse estudo a casos práticos com soluções de estabilização desenvolvidas com um programa de cálculo.

Além dos objetivos supracitados, possui também alguns objetivos específicos, tais como:

- Desenvolver um programa de cálculo para calcular a estabilidade para várias condições existentes em taludes naturais infinitos utilizando linguagem de programação VBA (*Visual Basic for Application*);
- Desenvolver soluções de estabilização utilizando a mesma linguagem de programação.
- Aplicar o programa desenvolvido em casos de estudo prático.
- Analisar e comparar os resultados obtidos utilizando a metodologia dos coeficientes globais e parciais de segurança de acordo com o Eurocódigo 7.

O estudo visa a praticidade na análise de movimentos de massa translacionais em taludes, para o auxílio em aplicações posteriores com foco para uso acadêmico.

## 1.3 – ESTRUTURA

A estruturação do presente trabalho foi dividida em cinco capítulos: introdução, revisão bibliográfica, metodologia de análise de taludes e desenvolvimento de software de cálculo, casos de estudo e análise, resultados e conclusões.

Na revisão bibliográfica (capítulo 2) é apresentado os conceitos principais e referências que norteiam para o desenvolvimento do processo de análise da estabilidade de taludes, tendo como foco principal o enquadramento teórico de tudo que será apresentado durante o presente trabalho, tais como significados de conceitos mais relacionados aos taludes infinitos e fatores de influência no mesmo, além de citar alguns conceitos que não se enquadram, porém de necessário entendimento.

Também foi apresentado, ainda no capítulo 2, ensaios para a caracterização de solos, não sendo aprofundado nos conceitos supracitados, porém mostrado os principais ensaios de campo geralmente utilizados para avaliar as características geotécnicas de uma região.

No capítulo de metodologia de taludes naturais e desenvolvimento do software de cálculo (capítulo 3) é apresentado contextualizando todo método de cálculo de estabilidade de taludes infinitos para os mais diversos tipos existentes, sendo eles homogêneos ou heterogêneos. Além de demonstrar todo método de cálculo de estabilidade, há também o processo de soluções de estabilidade mais usualmente adotadas, como redução de geometria (altura) do talude, aplicação de ancoragens e pregagens.

Foi desenvolvido ainda no capítulo 3 a programação para o cálculo, enquadrando todos os métodos em um único processo, determinando um formulário que se adequa ao que foi proposto e de fácil interpretação para os mais diversos utilizadores. Foi utilizado estruturas de repetição e verificações de processo, sendo possível a utilização para todos os tipos de taludes infinitos existentes. Vale ressaltar também que toda a codificação utilizada foi programada em VBA (*Visual Basic for Application*), onde utilizando o próprio Excel como banco de dados para o desenvolvimento do programa de cálculo.

No capítulo de casos de estudo e análise (capítulo 4) será aplicado o programa desenvolvido para alguns casos específicos e comparando os métodos de análise utilizando coeficientes globais e parciais de segurança segundo o Eurocódigo 7, além de definir possíveis soluções de estabilização para os casos que haja instabilidade no talude.

Por último, no quinto capítulo será discutido o que foi estudado e desenvolvido, onde é descrito as principais conclusões do trabalho e possíveis desenvolvimentos futuros.

## 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA – ESTABILIDADE DE TALUDES

### 2.1 – TALUDE

Antes de compreender os fenômenos devido ao movimento de grandes massas de solos, é necessário entender alguns conceitos fundamentais que serão apresentados no presente trabalho. O termo talude (Figura 1) pode ser definido como a superfície inclinada de um determinado maciço de terra ou rochoso, sendo divididos em taludes naturais e artificiais (corte ou aterro), finitos e infinitos, de acordo com a sua origem.

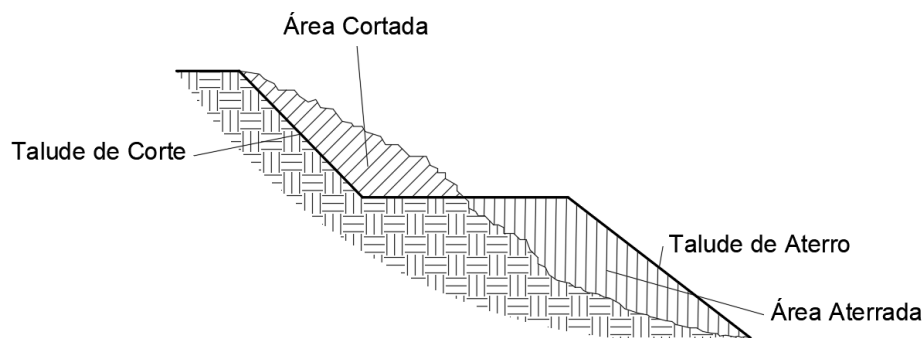


Figura 1 - Reprodução talude de aterro e de corte. (Fonte: Autoral)

Sua estabilização é de grande importância na área da Geotecnia, além de influenciar diretamente a construção civil, pois é analisado diversos fatores, tais como ações hidrodinâmicas, hidrostáticas, ações do vento e variações de temperatura. Essas condições conjugadas com forças da natureza, como gravidade, força de percolação e sismos, podem condicionar escorregamentos de grandes massas de terra.

### 2.2 – EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA

A evolução dos taludes ou a forma como são formados podem ser definidos por dois tipos mecanismos: erosão e movimentos do terreno (massa), ou a associação dos dois. A erosão é o processo de desgaste, transporte e sedimentação das formações geológicas por agentes externos, como mostra a Figura 2:



Figura 2 - Erosão de um solo. (Fonte: <https://www.purawildlife.org/rainforests/>)

Já os movimentos de massa podem ser divididos em três tipos, conforme mostra a tabela 1 a seguir:

Tabela 1 - Tipos de Movimentos de Massa. (Fonte: Guerra, 2008. Adaptado)

Movimentos de Massa	Desmoronamento ( <i>Falls</i> )	
	Escorregamentos ( <i>Slides</i> )	
	Fluimentos ( <i>Flows</i> )	<i>Mud Flows</i>
		<i>Earth Flows</i>
<i>Debris Flows</i>		

### 2.2.1 - Desmoronamento

Desmoronamento pode ser considerado o desprendimento de uma determinada massa de solo ou rocha de sua matriz, geralmente ocorrem em taludes com maior inclinação, como observa-se a Figura 3:

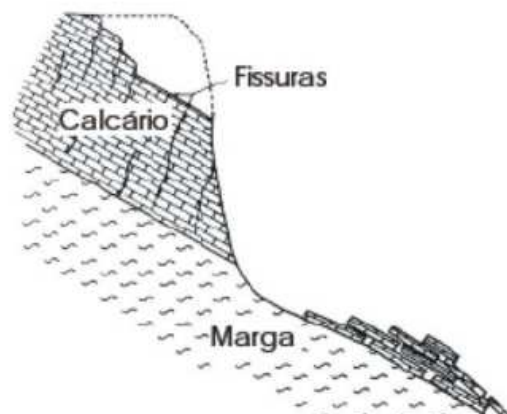


Figura 3- Representação desmoronamento. (Fonte: Gerra, 2008)

A ocorrência do fenômeno acontece devido ao movimento inicial de deslizamento que provoca superfícies de corte devido ao peso gravítico, sendo provocados por processos de meteorização, sendo na ação da vegetação ou na descontinuidade dos maciços.

### 2.2.2 – Escorregamento

Os escorregamentos são movimentos de massa translacionais que ocorrem ao longo de uma superfície, condicionadas por descontinuidades, xistosidade e a foliação. O escorregamento pode também seguir de forma curva caso não exista anisotropia marcada no talude, ou seja, as propriedades do solo serem diferentes consoante as direções, geralmente ocorrendo em solos e maciços rochosos menos competentes. A Figura 4 apresenta os dois tipos de escorregamento:

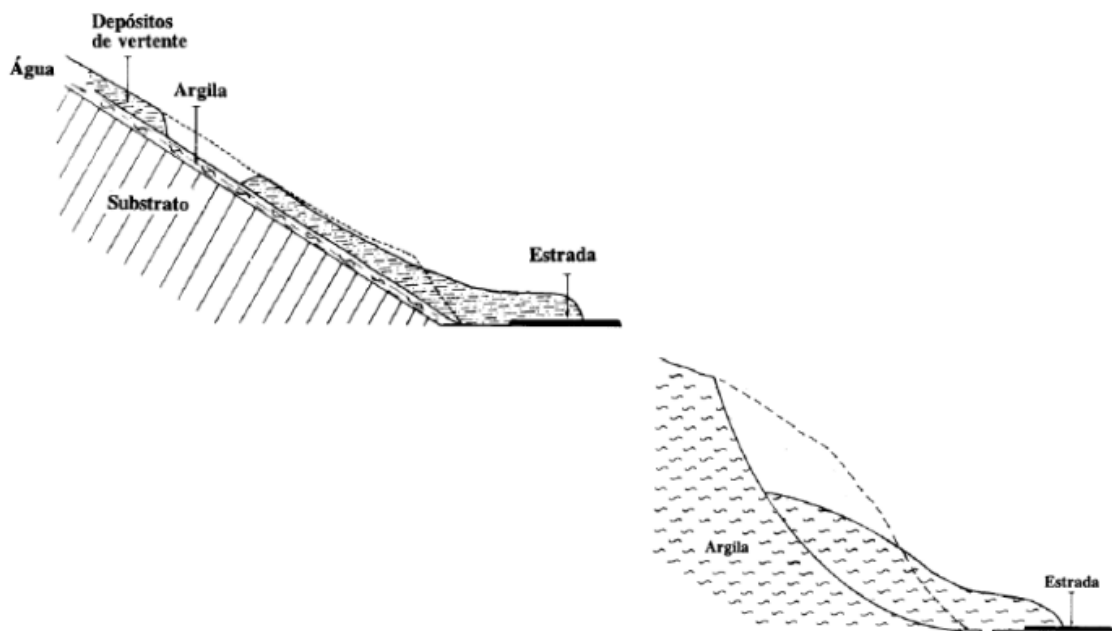


Figura 4 - Representação de escorregamento translacional e rotacional respectivamente. (Fonte: Guerra, 2008)

### 2.2.3 - Fluimento

Assim como o escorregamento, são movimentos que ocorrem ao longo de uma superfície, porém caracterizados geralmente pelas distorções internas, podendo ser descritos pela grande quantidade de superfícies de corte e pelo elevado teor de água, tendo um comportamento líquido viscoso.

O movimento de massa é lento e contínuo, porém geralmente possuem um volume de material maior e com maiores alcances, sendo um grande fator de risco, conforme mostra Figura 5. Os fluimentos são divididos em três subcategorias de acordo com o tipo de solo e suas características como coesão e teor em água:

- *Mud Flows* – Solos coesivos com alto teor de água e velocidade relativamente média.
- *Earth Flows* – Solos não coesivos com baixo teor de água e velocidade relativamente baixa.
- *Debris Flows* – Material grosseiro como blocos rochosos.

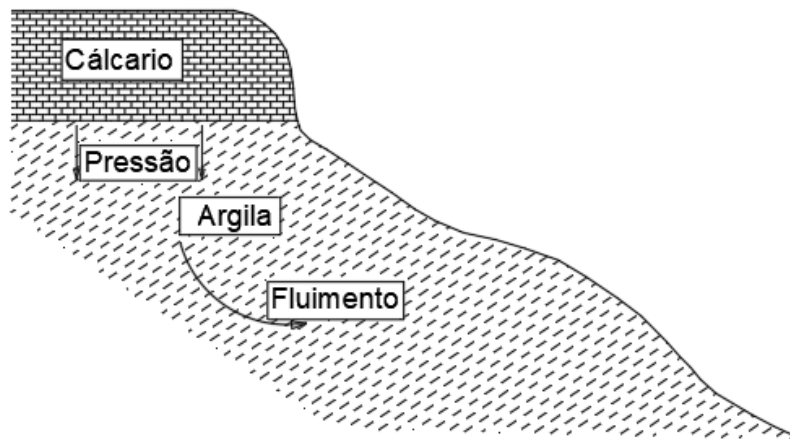


Figura 5 - Representação fluimento. (Fonte: Guerra, 2008, Adaptado)

### 2.3 – TIPOS DE TALUDES

No presente estudo, será apresentado os aspectos que dizem respeito aos taludes infinitos naturais. Que são aqueles formados pela própria natureza (Figura 6), sendo originados naturalmente, por ações geológicas ou outras ações como por exemplo precipitação, vento, gravidade entre outras, podendo ser composto por solo residual e/ou coluvionar, além de rochas.



Figura 6 - Exemplo de um talude natural. (Fonte: bibocaambiental.blogspot.com.br)

Os taludes naturais estão sempre sujeitos a problemas de instabilidade, porque as ações das forças gravitacionais contribuem naturalmente para a deflagração do movimento. (Gerscovich, 2018).

As obras realizadas pela humanidade de certa forma aceleram a instabilidade de taludes, já que por condições naturais os níveis de segurança geralmente são precários, além de provocar uma instabilidade em taludes naturais com nível segurança adequado.

Os problemas de estabilidade em taludes naturais são de certa forma complexos, pois muitas variáveis são levadas em questão, seja na mecânica dos solos ou mecânica das rochas. Geralmente são tratados solos de grandes dimensões que implicam de certa forma por haver uma variação de solos, ou até mesmo variação de determinadas características para o mesmo solo.

Além de tratar de solos de grandes dimensões há também de se levar em conta a história geológica da massa em estudo, no qual geralmente possui histórico de tensões mal conhecido, tornando assim a caracterização mecânica mais complexa, requerendo um estudo mais aprofundado e detalhado.

Já os taludes artificiais são originados da influência da humanidade, resultados de cortes em encostas, aterros e escavações, conforme mostrado anteriormente na Figura 1. As propriedades mecânicas e características do solo são conhecidas e os cálculos de estabilidades envolvem menos incertezas.

A formação do talude de corte se dá devido ao processo de corte do maciço, onde não se tem um controle das características do material tão precisas como a do aterro, sendo necessário um estudo geotécnico mais elaborado para realizar tal processo.

Já o talude de aterro se forma devido a partir da deposição de massas de solo, sendo possível controlar as características do solo que serão depositados, sendo mais fáceis de certa forma de serem executados.

A divisão de taludes infinitos e finitos é realizada para facilitar os métodos de análise. Pode ser definido como talude infinito quando as dimensões de desenvolvimento superficial são bem maiores comparados à sua espessura e suas características a determinada profundidade se mantém aproximadamente constantes. Segundo Massad (2003), taludes infinitos consistem em taludes de encostas naturais que se caracterizam pela sua grande extensão, centenas de metros, e pela reduzida espessura do manto de solo, de alguns metros.

Na Figura 7 pode-se observar como é representado um talude infinito simples:

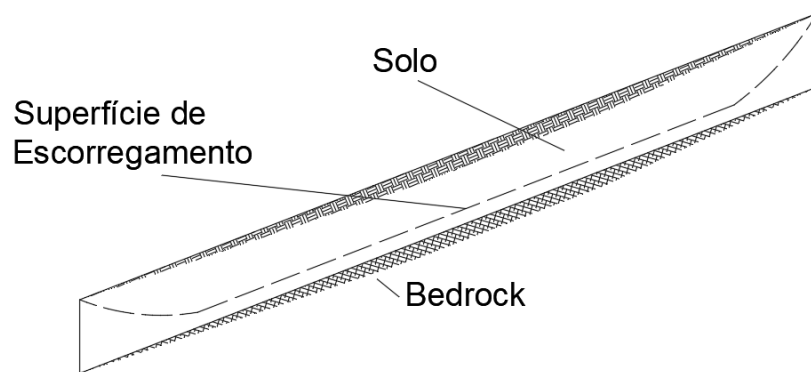


Figura 7 - Representação talude infinito. (Fonte: Autoral)

A influência dos efeitos de interação dos extremos não será levada em consideração no presente trabalho, podendo assim ser realizado a análise arbitrando um prisma, que será demonstrado posteriormente.

## 2.4 – ESTABILIDADE DE UM TALUDE

Os elementos que afetam a estabilidade de uma encosta são inúmeros e variados, podendo interagir de forma complexa e muitas vezes sutil (Varnes et al., 1984).

Em todos os taludes há presença de fatores que influenciam na sua estabilidade. Seja ele natural ou por ação humana. O quociente entre a resistência do terreno e as tensões atuantes no mesmo pode ser definido como fator de segurança. Esse fator tem uma variabilidade grande durante o tempo, passando por três fases: estável, marginalmente estável e activamente instável (Crozier, 1986). Essa variabilidade se dá a diversos fatores físicos como meteorização, precipitação intensa, erosões e sobrecargas.

Na Figura 8 pode-se ver a evolução temporal do fator de segurança descrito por Popescu (1994):

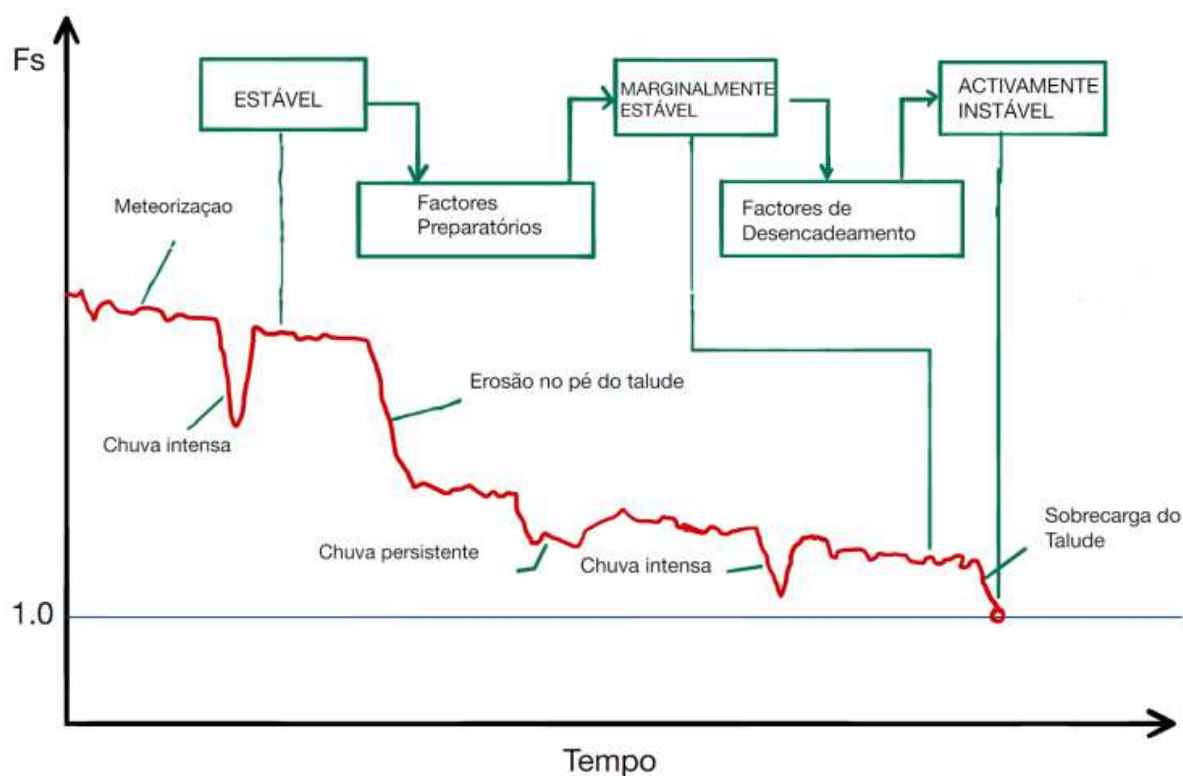


Figura 8 – Variação temporal do factor de segurança. (Fonte: Popescu Adaptado)

A estabilidade de um talude é definida por diversos fatores, tais como, quedas, tombamento, escorregamentos, espalhamento e escoamento. Alguns que serão abordados durante o desenvolvimento do trabalho serão também descritos. A tabela 2 a seguir apresenta alguns tipos de causas de instabilização definido por Guerra (2008):

Tabela 2 - Causas de Instabilização. (Fonte: Guerra, 2008. Adaptado)

Causas Externas	Aumento da inclinação dos taludes, por escavação ou por erosões agentes de meteorização
	Aumento da altura do talude, devido a escavação no pé ou aterro na crista
	Aplicação de sobrecargas
	Variação sazonal da temperatura e humidade, podendo originar abertura de fendas de tracção
	Acção sísmica ou vibrações induzidas nos terrenos
	Erosão superficial
Causas Internas	Efeito da vegetação
	Aumento das pressões intersticiais
	Aumento das tensões de origem tectónica
Causas Intermediárias	Degradação da resistência do material
	Rebaixamento do nível das águas exteriores
	Erosão interna
	Liquefacção

De acordo com Queiroz, escoamento pode ser definido como movimentos de massa caracterizados por ocorrerem de forma rápida e com curta duração, ocorre em superfícies em ruptura ou sobre zonas com pequena espessura e intensa deformação por cisalhamento, sendo dividido em escorregamento translacional e rotacional.

No presente trabalho será abordado o translacional (Figura 5), onde é caracterizado por ocorrer de forma que, a massa de solo move-se para fora, ou para baixo e para fora, ao longo de uma superfície relativamente plana.

O escorregamento translacional é um dos mais comuns tipos de deslizamentos encontrados, podendo ocorrer em todo tipo de ambiente em todas as condições, sendo mais rasos que os escorregamentos rotacionais, porém podendo progredir por distâncias consideráveis.

## **2.5 – FATORES DE INFLUÊNCIA DA INSTABILIDADE DE UM TALUDE**

Além das características mecânicas dos solos, há outros fatores que influenciam na análise de estabilidade de um talude. Dentre esses fatores pode-se destacar algumas como a presença de água, ações sísmicas e coberturas vegetais, que serão apresentados nesse capítulo.

### **2.5.1 – Água**

Os solos são formados por partículas minerais, porém entre as partículas há espaços não ocupados que são designados de poros ou vazios. Esses podem conter água e ar, separados ou conjuntamente. A ligação que há entre as partículas não resiste à livre absorção de água, no qual resulta em uma separação das partículas minerais quando agitadas em água, o que difere da rocha, que não desagregam quando agitadas em água, porém, não serão tratados no presente trabalho.

Um fator importante que pode ser definido de acordo com o teor de água de um solo é a plasticidade, que é uma característica de maior importância para solos finos, podendo ser definido da forma como apresenta a Figura 9:

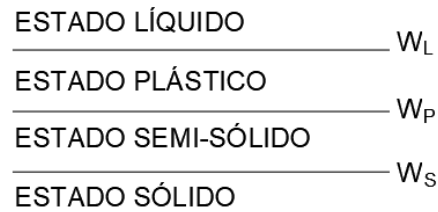


Figura 9 - Limite de Atterberg. (Fonte: Autoral)

Onde  $W_L$ ,  $W_P$  e  $W_S$  são o limite de liquidez, limite de plasticidade e limite de retracção respectivamente, no qual pode-se determinar também o índice de plasticidade, subtraindo o limite de liquidez pelo limite de plasticidade.

Outro fator que se deve entender sobre a influência da água nos solos é sua expansibilidade, principalmente em solos argilosos. A absorção de água origina um aumento de volume em certos tipos de solo, que podem assumir proporções que devem ser levadas em consideração, também o efeito contrário, como por exemplo a secagem, que assume um papel inverso do supracitado, causando retracções.

Portanto, conclui-se que a água em suas diversas formas tem grande influência nos solos. Pode-se afirmar também que, em muitas situações, a água seja ela livre ou gravítica, não está em equilíbrio estático, mas sempre em movimento, essa ação nos maciços é definida por percolação.

A percolação pode acontecer através dos poros ou das fraturas do terreno, no qual determina-se também a permeabilidade, sendo ela “em pequeno” (através dos poros) que ocorre principalmente em solo e “em grande” (através das fraturas) que é predominante nas rochas. Os dois tipos podem ocorrer de forma simultânea, podendo assim haver uma permeabilidade mista.

Conforme já estudado em problemas de mecânica dos fluídos, a água move-se nos solos quando ocorre diferença das cargas hidráulicas, onde o movimento é dirigido para o ponto de menor carga.

Na análise de taludes infinitos naturais a influência da percolação se dá por conta geralmente de condições criadas por intensas precipitações, onde cria um regime de percolação paralelo à superfície do talude, conforme Figura 10:

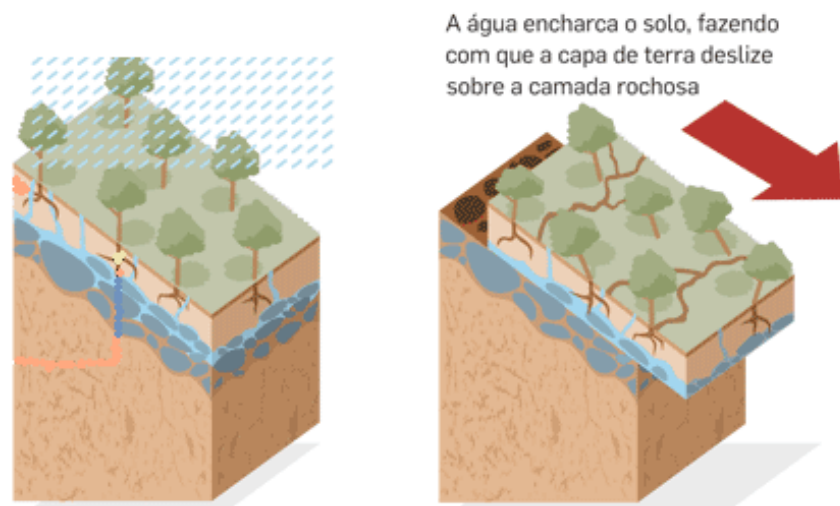


Figura 10 - Escorregamento causado pela percolação. (Fonte: O Estado de São Paulo - 2011)

Como pode-se observar, a água é um dos principais influenciadores na instabilidade de taludes. De acordo com Ahrendt (2005) a percolação da água no interior do talude gera um aumento de pressões neutras, que reduz a resistência do solo ao cisalhamento.

A análise de estabilidade com o fator da percolação será apresentada no próximo capítulo, durante o desenvolvimento do programa de cálculo.

### 2.5.2 – Sismo

O sismo pode ser definido como um fenômeno natural, com origem em fenômenos geológicos, sendo o resultado de uma ruptura no interior da crosta terrestre, libertando de forma súbita uma grande quantidade de energia, provocando vibrações que se propagam do hipocentro à todas as direções, como apresentado na Figura 11:

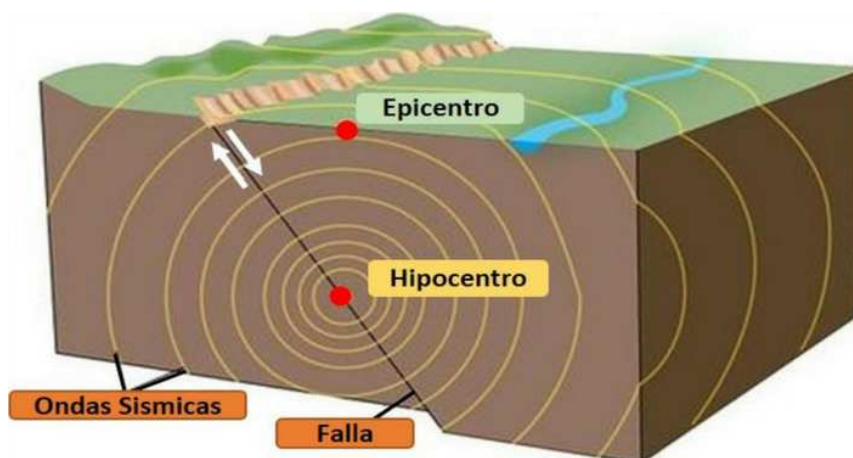


Figura 11 - Representação sismo. (Fonte: <http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php/faqs/sismologia>)

Ao longo do tempo geológico, a superfície da Terra foi submetida a enormes tensões que levaram à formação de montanhas e à deriva dos continentes. Sob essas tensões, as rochas gradualmente se deformam e quebram. A fratura do material rochoso ocorre quando seu limite de resistência é excedido, o resultado desse fato é a criação de vibrações chamadas ondas sísmicas, que viajam dentro da crosta terrestre. Estas são as vibrações que são sentidas quando ocorre um terremoto.

A influência do sismo na análise de estabilidade de taludes é corrente, podendo ser de pequena ou grande influência, dependendo da distância do hipocentro, mas que deve ser levado em consideração para evitar problemas de estabilidade e deslizamento de terras, como o ocorrido em El Salvador em 2001(Figura 12) e em outros lugares, como por exemplo o ocorrido no Nepal em 2015 e na Colômbia em 1992:



Figura 12 - Deslizamento de terra devido à um sismo ocorrido em 2001 em El Salvador na América Central. (Fonte:<https://temblor.net/earthquake-insights/offshore-el-salvador-earthquake-strikes-location-of-deadly-m7-7-event-6712>)

Para aplicação do fator sísmico em análise de estabilidade de taludes pode-se adotar o princípio de D'Alembert, considerando que, as acelerações sísmicas tanto horizontais quanto verticais são representadas por forças de inércia.

### 2.5.3 – Cobertura Vegetal

Coberturas vegetais não são incluídas em métodos de análise de taludes, mas tem de ser levado em consideração, de acordo com estudos, a existências dessas coberturas contribuem para o aumento da resistência de corte, principalmente em épocas de grandes precipitações, porém, não são objetivos de quantificação.

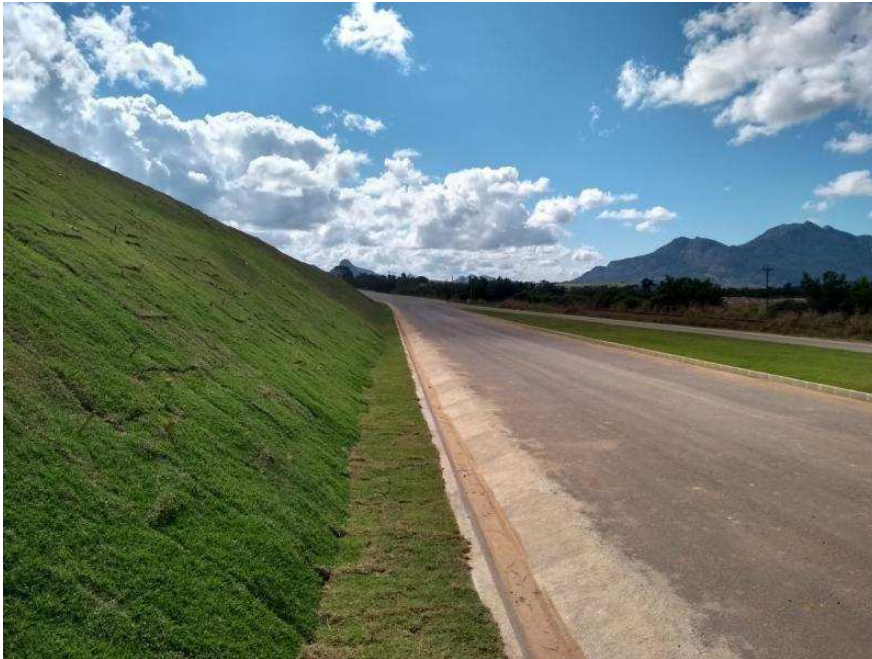


Figura 13 - Cobertura vegetal em taludes. (Fonte: <https://www.nativaambiental.com.br>)

Para entender a influência da cobertura vegetal deve-se compreender que a erosão do solo durante grande épocas de precipitação é composta de duas fases, na primeira as partículas que compõem o solo são desagregadas devido a ação direta das gotas da chuva, na segunda fase acontece o escorrimento das partículas pela água.

A presença de cobertura vegetal pode influenciar tanto na primeira fase quanto na segunda fase, dependendo da vegetação presente. Segundo a um estudo realizado pelo centro de geotecnia de Lisboa, a quantidade de solo arrastado em um solo com cobertura vegetal, seja ela verde ou seca, é muito menor comparado com o solo arrastado sem qualquer cobertura.

## 2.6 – CASOS DE ESTUDO BIBLIOGRÁFICOS

A instabilidade de taludes ocorre em todo o mundo, nesse subcapítulo serão apresentados alguns casos de estudos bibliográficos que foram realizados nos últimos anos.

Um evento que ganhou destaque histórico, dada as vidas perdidas e danos causados ocorreu entre os anos de 2008 e início de 2009, que atingiu bruscamente o vale do Itajaí e várias outras regiões (Garcia,2018).

Aparentemente o deslizamento ocorreu devido ao excesso de chuva na região (Figura 14), não havendo muitas informações a respeito dos dados do solo, apresentado assim carência de informações. Porém com os deslizamentos, segundo dados da defesa civil registrados na época, 1,5 milhões de pessoas foram atingidas, além do prejuízo para o setor de infraestrutura.



Figura 14 - Deslizamento em Itajaí - Brasil. (Fonte: Garcia, 2018)

Em Vila Franca de Xira por volta de dezembro de 2003 ocorreu um deslizamento de um talude com cerca de 120 metros de extensão com 14 metros de altura. Segundo Martins, Nogueira e Carvalho (2012), a instabilização colocou em risco as habitações implantadas na base do talude, bem como o arruamento existente no topo, pelo que foi necessário definir e implementar medidas de estabilização de caráter urgente, que assegurassem a segurança a curto prazo das referidas estruturas. Na Figura 15 pode-se ver parte do talude em questão:



Figura 15 - Vista do Topo do Talude. (Fonte: Martins, Nogueira e Carvalho, 2012)

Foi realizada caracterização geológica e geotécnica dos terrenos utilizando vários ensaios SPT e pressiométricos, definindo assim um perfil geológico-geotécnico interpretativo, como mostra a Figura 16:

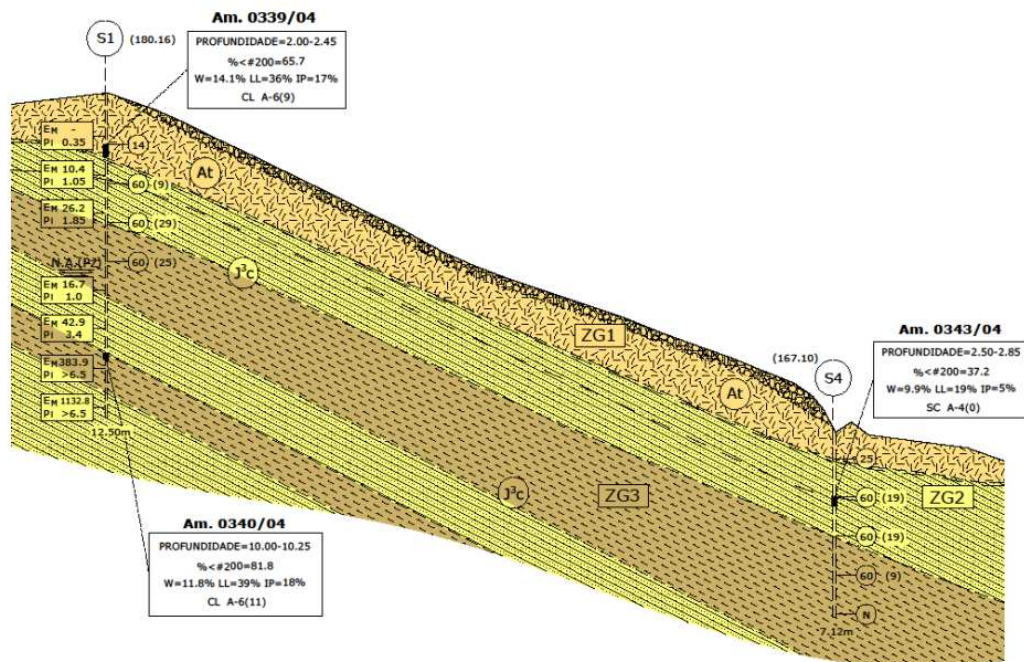


Figura 16 - Perfil geológico-geotécnico interpretativo. (Fonte: Martins, Nogueira e Carvalho, 2012)

A solução de estabilização utilizada para o talude em Vila Franca de Xira foi a remoção do material instável e construções de dois muros de gabiões implementados junto a valas drenantes, como mostra a Figura 17:

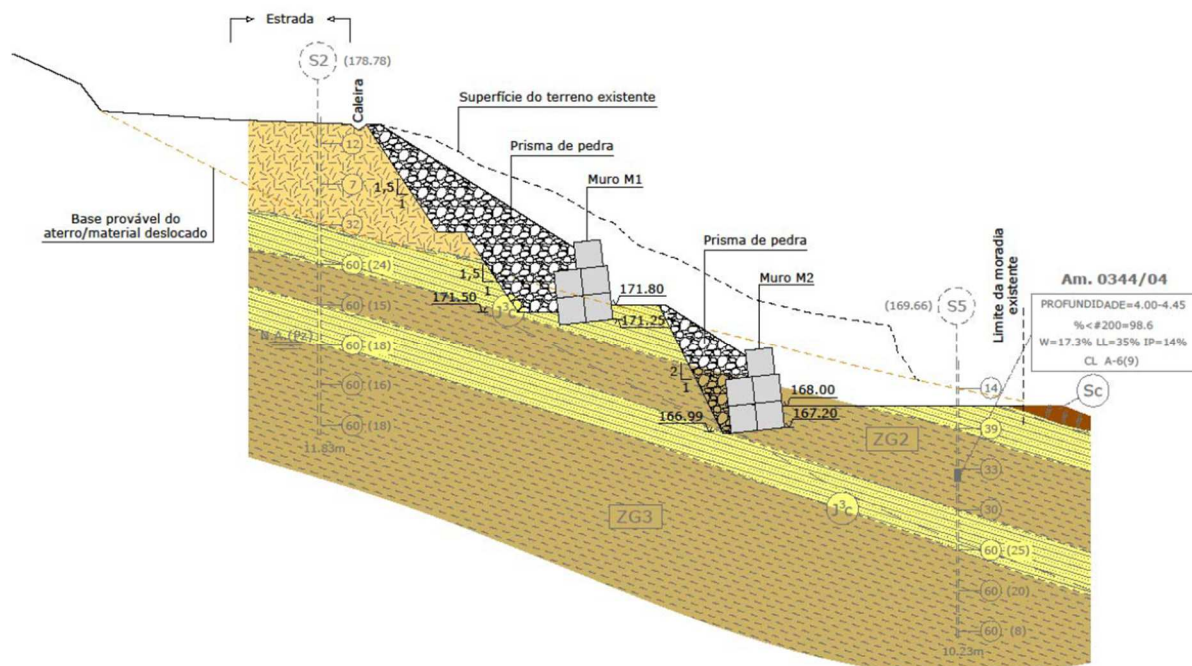


Figura 17 - Perfil do tipo de solução adotada. (Fonte: Martins, Nogueira e Carvalho, 2012)

O processo construtivo foi definido por faseamento, onde na primeira fase foi removido o material instável do topo, solução na qual, resultou em uma diminuição do peso das terras. Foi removido de cima para baixo, utilizando uma inclinação de 1,5:1(V:H). Após isso foi executado a construção dos muros de gabiões e de valas drenantes, e por fim, a colocação de cobertura vegetal de espécies do local.

Outro estudo interessante foi o realizado por H. Souza, R. Santos e W. Carneiro (2014) sobre a utilização de bioengenharia na estabilização de taludes na cidade de Salvador no estado da Bahia no Brasil. O talude (Figura 18) tinha aproximadamente 15 metros de altura com extensão de 200 metros.



Figura 18 - Esquema de divisão do talude. (Fonte: H. Souza, R. Santos e W. Carneiro, 2014)

Para auxiliar no sistema de quebra de energia cinética provinda de águas pluviais, o maciço foi dividido em três partes com inclinações diferentes dotadas de bermas (H. Souza, R. Santos e W. Carneiro, 2014). Para o talude em questão, o primeiro e segundo trecho foi utilizado biomantas com vegetação e inclinação de 65°, já no último trecho foi utilizado solo grampeado e uma inclinação de 90° (Figura 19.).

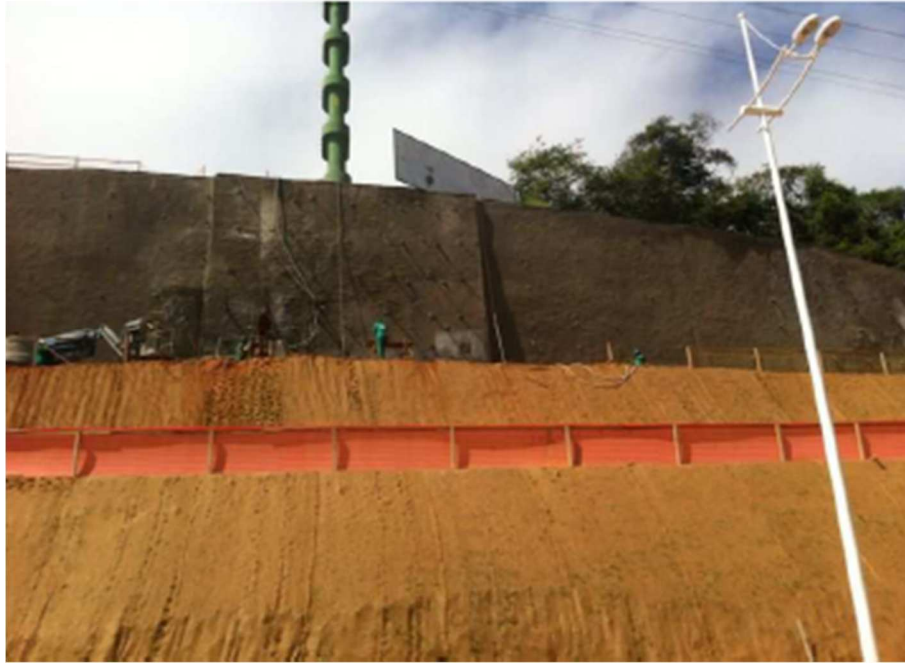


Figura 19 - Soluções adotadas para o talude. (Fonte: H. Souza, R. Santos e W. Carneiro, 2014)

Além do que foi supracitado, também foi realizado um sistema de drenagem, com utilização de escadas hidráulicas, bermas e canaletas.

## **3 – METODOLOGIA DE ANÁLISE DE TALUDES NATURAIS E DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE DE CÁLCULO**

### **3.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Devido à variedade de tipos de taludes infinitos naturais existentes e fatores que influenciam no mesmo para as diversas condições existentes, foi proposto o desenvolvimento de um programa de cálculo que enquadrasse todas as possibilidades e oferecesse um resultado satisfatório. Podendo também comparar com outros tipos de análises e fatores, além de propor uma solução que se adeque de acordo com o tipo de talude e características do solo.

No presente capítulo será abordado conceitos que serão necessários para o entendimento dos tipos de análise que serão apresentadas e desenvolvidas.

Para o desenvolvimento do programa de cálculo para taludes naturais foi utilizado a linguagem de programação VBA (*Visual Basic for Application*) dentro de um arquivo de Excel (Formato .xlsb), foi escolhido o mesmo pois possui um banco de dados próprio e simples de ser usado.

Para realização do programa partiu-se de pressupostos que algumas variáveis já estejam definidas, como por exemplo as propriedades mecânicas do maciço (ângulo de atrito, coesão e peso específico).

### **3.2 – MÉTODOS DE ANÁLISE CONSIDERADOS**

Para cada tipo de talude há um processo de cálculo que deve ser bem definido para o desenvolvimento do programa. O método de cálculo foi discretizado por tipo de talude e influência de agente externos como por exemplo a presença de água e a inclusão de ações sísmicas.

Assim, obteve-se oito tipos de análise de estabilidade de taludes conforme observado na Tabela 3:

Tabela 3 - Tipos de taludes infinitos naturais que serão abordados. (Fonte: Autoral)

Talude Homogêneo	Sem Nível Freático	Análise Estática
		Análise Dinâmica
	Com Nível Freático	Análise Estática
		Análise Dinâmica
Talude Heterogêneo	Sem Nível Freático	Análise Estática
		Análise Dinâmica
	Com Nível Freático	Análise Estática
		Análise Dinâmica

Para cada tipo de talude obtém-se um padrão de cálculo de estabilidade diferente, porém com a mesma base que serão discutidas a seguir.

### 3.2.1 – Talude Homogêneo sem Nível Freático

#### 3.2.1.1 – Análise Estática

Para esse tipo de análise considera-se que o talude em estudo não possui nível freático, ou seja, não há influência da percolação, nem ocorrência de sismos. Logo, para desenvolvimento do cálculo é utilizado apenas uma parte do talude, com uma base “b” e desenvolvimento infinito, conforme mostra a figura 20:

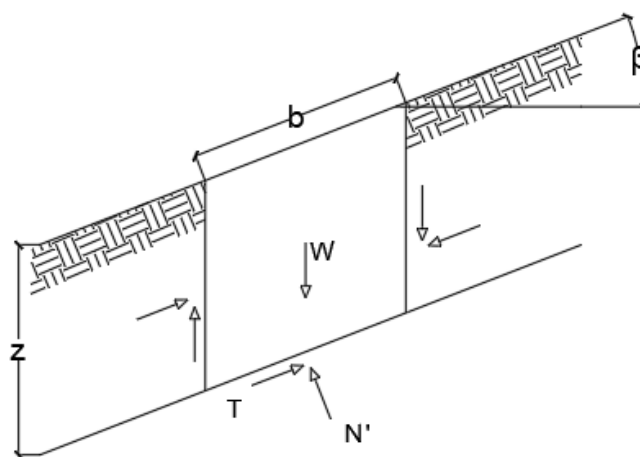


Figura 20 – Representação talude infinito – Análise estática sem nível freático. (Fonte: Autoral)

Onde o valor de peso do maciço “W” influencia diretamente no plano cartesiano feito pela tensão de corte entre o solo residual e um maciço “T” e a tensão normal provocada por ele “N”. Para determinação do valor de “W” é utilizado a equação:

$$W = \gamma b z \cdot \cos\beta \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

- $\gamma$  – Peso específico;
- $b$  – Base;
- $z$  – Altura do solo;
- $\beta$  – Inclinação do Talude.

Com o valor de “W” pode ser determinado o “N” e o “T” utilizando as seguintes equações:

$$N' = W \cdot \cos\beta \quad (\text{Equação 2})$$

$$T = W \cdot \sin\beta \quad (\text{Equação 3})$$

Após resolução, pode-se encontrar a tensão solicitante, definida pela equação:

$$\tau = \frac{T}{b} \quad (\text{Equação 4})$$

E utilizando a equação de rotura de Mohr Coulomb é encontrado a tensão resistente:

$$\tau = c' + \sigma' \cdot \operatorname{tg}\varphi' \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

- $c'$  – Coesão Efetiva;
- $\varphi'$  – Ângulo de Atrito Efetivo;
- $\sigma'$  – Tensão efetiva, definida pela equação:

$$\sigma' = \frac{N}{b} \quad (\text{Equação 6})$$

Com o resultado de tensão solicitante e resistente do talude, pode-se verificar a estabilidade através de um fator de segurança utilizando a seguinte expressão:

$$F = \frac{\tau_s}{\tau_r} \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

- F – Fator de Segurança;
- $\tau_r$  – Tensão Resistente não minorada;
- $\tau_s$  – Tensão Solicitante não majorada.

Porém alguns valores variam de acordo com o tipo de verificação que será realizado, como o presente trabalho pretende-se comparar dois tipos de verificação, uma análise utilizando coeficiente global de segurança e uma utilizando os coeficientes parciais de segurança segundo o Eurocódigo 7, serão abordados os dois métodos de verificação.

### 3.2.1.2 – Análise Dinâmica

As condições sísmicas são consideradas, através da adição de forças fictícias designadas por forças de inércia nas forças atuantes do talude, ou seja, no próprio peso do maciço. Essas forças são obtidas multiplicando o fator “W” por fatores adimensionais (coeficientes sísmicos), que representam a razão da aceleração sísmica pela aceleração da gravidade.

Considerado as mesmas condições citadas anteriormente, ou seja, que não há nível freático, porém com a inclusão das variáveis relacionados às condições sísmicas, tais como coeficiente de sismicidade vertical e horizontal que influenciam diretamente os valores de “N” e “T”, obtém-se o esquema apresentado na Figura 21:

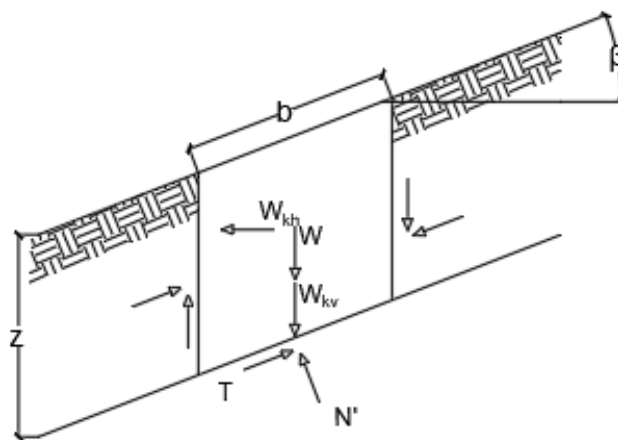


Figura 21 - Representação talude infinito – Análise dinâmica sem nível freático. (Fonte: Autoral)

O Eurocódigo 8 (Projeto de estruturas para resistência aos sismos) recomenda, que na ausência de estudos específicos, os coeficientes sísmicos horizontal ( $K_h$ ) e vertical ( $K_v$ ) sejam o seguinte:

$$K_h = \alpha \cdot S / r \quad (\text{Equação 8})$$

Caso  $\alpha$  for maior que 0,6:

$$K_v = \pm 0,5 K_h \quad (\text{Equação 9})$$

Nos restantes dos casos:

$$K_v = \pm 0,33 K_h \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

- $\alpha$  - razão entre a aceleração no terreno e a aceleração da gravidade;
- $S$  - Uma característica do tipo de terreno;
- $R$  - Um factor definido na Tabela 4 a seguir:

Tabela 4 - Valores de  $r$  para o cálculo de Coeficientes sísmicos. (Fonte: EC8)

<b>Tipo de estrutura de suporte</b>	<b>r</b>
Estruturas de suporte gravidade livres que aceitam deslocamentos $d_r \leq 300 \alpha \cdot S$ (mm)	2
Estruturas de suporte gravidade livres que aceitam deslocamentos $d_r \leq 200 \alpha \cdot S$ (mm)	1,5
Outras estruturas de suporte em que o movimento não é permitido (encontros de pontes etc.)	1

A obtenção dos coeficientes sísmicos verticais e horizontais não serão desenvolvidos no presente trabalho, portanto considera-se do pressuposto que eles já foram obtidos.

Portanto, projetando as forças existentes em um plano cartesiano, e obtendo equações para “N” e “T” conforme realizado anteriormente, consegue-se obter as seguintes equações:

$$N' = W \cdot \cos\beta - W \cdot k_h \cdot \sin\beta + W k_v \cdot \cos\beta \quad (\text{Equação 11})$$

$$T = W \cdot \sin\beta + W \cdot k_h \cos\beta + W k_v \cdot \sin\beta \quad (\text{Equação 12})$$

Onde:

- $K_h$  – Coeficiente sísmico horizontal;
- $K_v$  – Coeficiente sísmico vertical.

O processo de cálculo posterior de estabilidade é semelhante ao citado anteriormente, com os valores de “N” e “T” definidos, pode-se aplicar as equações. Utilizando as mesmas para definição dos fatores de segurança para coeficiente global e parcial de segurança.

### 3.2.2 - Talude Homogêneo com Nível Freático

#### 3.2.2.1 – Análise Estática

Para as condições que incluam a existência de um nível freático, deve-se considerar a percolação e o peso do solo de forma saturada a partir do nível de água. O esquema representativo fica da forma como apresenta a Figura 22:

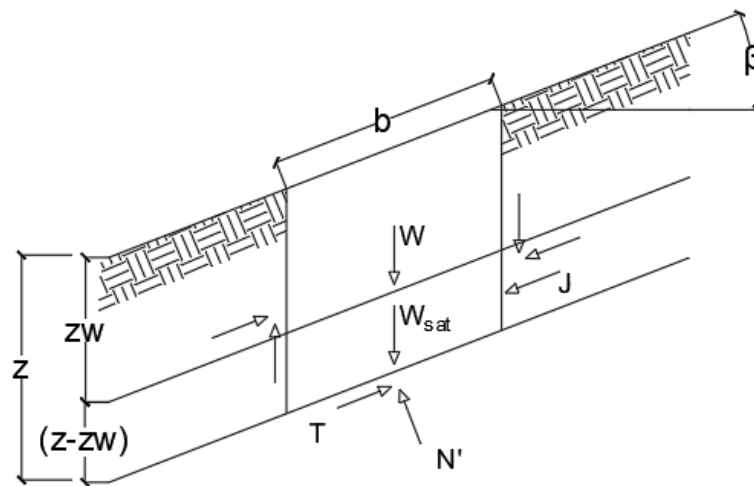


Figura 22 - Representação talude infinito – Análise estática com nível freático. (Fonte: Autoral)

Os valores do peso saturado podem ser obtidos através de estudos de caracterização de solo que foram citados anteriormente. Já a influência percolação, pode ser obtida através da seguinte equação:

$$J = \text{sen}\beta \cdot \gamma_w \cdot (z - zw) \cdot b \cdot \text{cos}\beta \quad (\text{Equação 13})$$

Onde:

- J – Fator de Percolação;
- $\gamma_w$  – Peso específico da água.

Aplicando as forças existentes obtém-se as seguintes equações para os valores de “N” e “T”:

$$N' = W \cdot \cos\beta - W_{sub} \cdot \cos\beta \quad (\text{Equação 14})$$

$$T = W \cdot \sin\beta + W_{sub} \cdot \sin\beta + J \quad (\text{Equação 15})$$

Para obter o valor do peso submerso “ $W_{sub}$ ”, aplica-se a seguinte equação:

$$W_{sub} = (\gamma_{sat} - \gamma_w) \cdot (z - z_w) \cdot b \cdot \cos\beta \quad (\text{Equação 16})$$

Onde:

- $\gamma_{sat}$  – Peso específico do solo saturado;
- $z$  – Altura do talude;
- $z_w$  – Altura do nível freático.

Nessa análise a variável “ $W$ ” não considera o valor da altura total do talude, deve-se considerar apenas o nível de solo seco, ou seja, o valor de “ $z_w$ ”. O processo de cálculo subsequente não altera em relação aos anteriores, podendo assim aplicar as equações já citadas, modificando apenas os valores de tensão normal “ $N$ ” e tensão de corte “ $T$ ”.

### 3.2.2.2 - Análise Dinâmica

Para o cálculo de análise dinâmica com influencia o nível freático, deve enquadrar todas variáveis que foram citadas anteriormente, considerando a influência da percolação, junto com a sismicidade presente, como mostra a Figura 23:

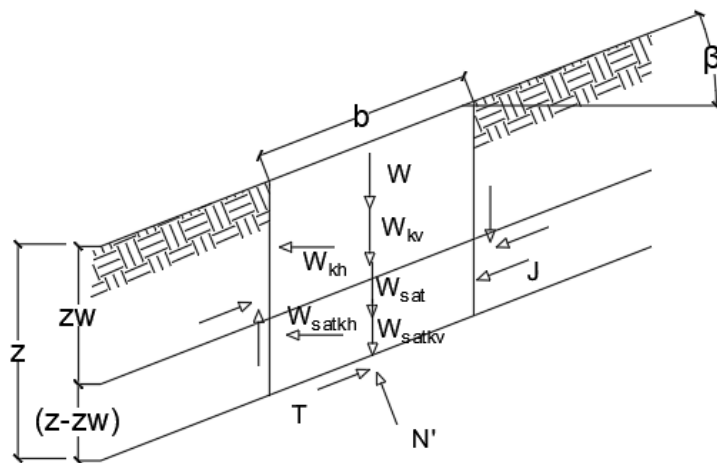


Figura 23 - Representação talude infinito – Análise dinâmica com nível freático. (Fonte: Autoral)

Aplicando novamente os vetores no plano cartesiano “N’” e “T”, obtém as seguintes equações para os valores supracitados:

$$N' = W \cdot \cos\beta - W_{kh} \cdot \sin\beta + W_{kv} \cdot \cos\beta + W_{sub} \cdot \cos\beta - W_{subkh} \cdot \sin\beta + W_{subkv} \cdot \cos\beta \quad (\text{Equação 17})$$

$$T = W \cdot \sin\beta + W_{kv} \cdot \sin\beta + W_{kh} \cdot \cos\beta + W_{sub} \cdot \sin\beta + W_{subkv} \cdot \sin\beta + W_{subkh} \cdot \cos\beta + J \quad (\text{Equação 18})$$

Que podem ser reescritas da seguinte forma:

$$N' = \cos\beta \cdot (W + W_{kv} + W_{sub} + W_{subkv}) - \sin\beta \cdot (W_{kh} + W_{subkh}) \quad (\text{Equação 19})$$

$$T = \cos\beta \cdot (W_{kh} + W_{subkh}) + \sin\beta \cdot (W + W_{kv} + W_{sub} + W_{subkv}) + J \quad (\text{Equação 20})$$

Com o resultado obtido, pode-se dar sequência no processo de cálculo de estabilidade seguindo as mesmas equações que foram abordadas.

### **3.2.3 - Talude Heterogêneo sem Nível Freático**

#### **3.2.3.1 – Análise Estática**

Para taludes heterogêneos (Figura 24), ou seja, com várias camadas de solo em profundidade, e com diferentes características, o método de cálculo possui peculiaridades se comparadas ao método de análise estática, citado anteriormente.

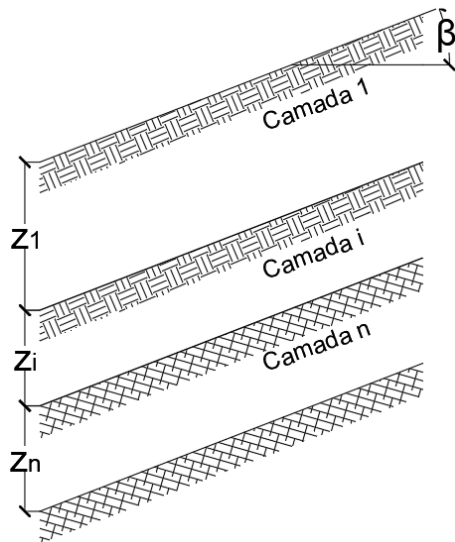


Figura 24 - Representação talude heterogêneo. (Fonte: Autoral)

Como a estabilidade é analisada na base do talude, é utilizado as características do solo mais desfavoráveis na base, sendo avaliado camada a camada, até encontrar rotura no maciço.

Sendo um processo de cálculo que ocorre de forma que depende da quantidade de camadas existentes, será apresentado um modelo de cálculo de verificação da estabilidade camada a camada (Figura 25), adaptado de acordo com as equações anteriores.

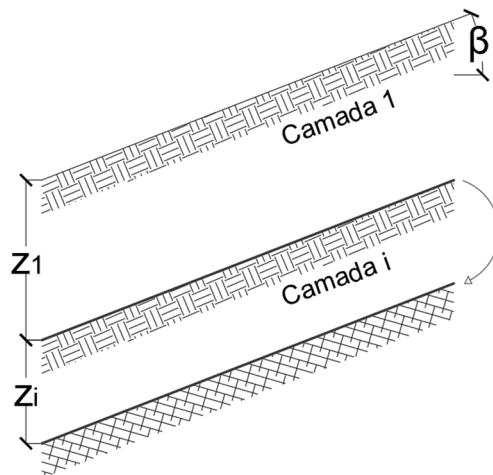


Figura 25 - Representação processo de identificação de local de instabilidade em taludes heterogêneos. (Fonte: Autoral)

Portanto, o processo de cálculo pode seguir a equação definida para taludes homogêneos. A equação é aplicada na primeira camada de solo e repetida para as camadas subsequentes até verificação da estabilidade da última camada, conforme mostra fluxograma (Figura 26) a seguir:

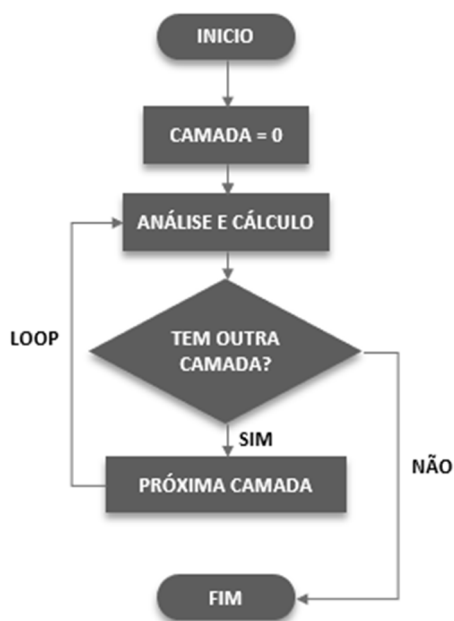


Figura 26 - Fluxograma do processo de cálculo para taludes heterogêneos. (Fonte: Autoral)

Os dados dos solos como coesão e ângulo de atrito são os da camada com as características mecânicas mais desfavoráveis.

### 3.2.3.2 - Análise Dinâmica

Assim como para os estudos dinâmicos citados, a diferença para a análise estática será a inclusão das variáveis que representam a ação sísmica no maciço (Figura 21), porém aplicado o processo já citado (Figura 26).

O processo ocorre de forma que se pode usar uma estrutura de repetição até a última camada, conforme o fluxograma apresentado anteriormente. A influência do sismo ocorre de forma similar em cada camada, porém os efeitos são acumulados em camadas mais profundas, obtendo um efeito mais crítico nelas.

## 3.2.4 - Talude Heterogêneo com Nível Freático

### 3.2.4.1 – Análise Estática

Para a análise estática em condições que há influência de percolação, primeiro é necessário identificar o nível do lençol freático e quais camadas há saturação do solo. Após definição do nível, é reproduzido o processo de cálculo definido para taludes homogêneos.

A estruturação para cálculo segue como repetição até a última camada, a peculiaridade da análise estática com lençol freático comparada às outras é a ação da percolação não ocorrer em alguns processos de cálculo, tendo efeito apenas em camadas abaixo do nível freático.

As equações utilizadas são as mesmas descritas anteriormente, porém com aplicação da estrutura de repetição.

#### **3.2.4.2 – Análise Dinâmica**

Nesse método de análise considerou o mesmo esquema apresentado, porém com a inclusão do coeficiente sísmico horizontal e vertical. A influência deles ocorre em todas as camadas do talude.

As equações relacionadas à análise dinâmica e a estrutura de repetição já foram apresentadas anteriormente, portanto não será abordado o método de cálculo no presente item.

### **3.3 – MÉTODOS DE VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA**

O processo de análise no âmbito de dimensionamento de estruturas, em especial obras geotécnicas, deve assegurar uma solução com margens de segurança que se destinam a prevenção de incertezas que podem acontecer (Tabela 5).

Tabela 5 - Incertezas que afetam o processo de dimensionamento. (Fonte: Miguel de Paula, Adaptado)

Incertezas que afetam o processo de Dimensionamento	estimativa das ações, envolvendo as ações permanentes (em geral, o peso próprio da estrutura e do terreno), as ações ou cargas variáveis ligadas à utilização (tráfego, público, bens móveis, etc.) e as ações ambientais, também variáveis (vento, neve, variações de temperatura, sismos, etc.);
	variabilidade espacial das propriedades dos solos;
	avaliação dos parâmetros mecânicos do terreno a partir de ensaios (perturbação das amostras, interpretação dos ensaios, correlações empíricas, etc. );
	a desvios dos parâmetros geométricos em relação ao admitido no dimensionamento (dimensões das fundações, desvios de implantação das fundações em relação à estrutura, etc. );
	a limitações dos modelos e métodos de cálculo para traduzir com fidelidade os fenômenos mecânicos que controlam o comportamento do solo.

O dimensionamento estrutural consiste em comparar a resistência com a solicitação, aplicando coeficientes definidos através de estudos científicos.

### 3.3.1 – Coeficiente Global de Segurança

Os definição dos valores para coeficiente global de segurança para cada caso remete a experiência de anos, que caso combinados com métodos de cálculo e caracterização de terreno apropriados, são considerados soluções seguras sob ponto de vista determinístico.

Os fatores de segurança globais não levam em conta a variabilidade das propriedades do solo ou conhecimento adicional sobre o solo, ou seja, o mesmo valor do fator de segurança é frequentemente aplicado às condições que envolvem graus muito diferentes de incerteza (Ramirez,2016).

A tabela 6 mostra os valores típicos recomendados para coeficientes globais de segurança para alguns tipos de obras geotécnicas.

Tabela 6 - Valores típicos de coeficientes globais de segurança usados na Engenharia Geotécnica  
(Fonte: Terzaghi & Peck, 1948, 1967)

<b>Tipo de Rotura</b>	<b>Item</b>	<b>Valores de F</b>
Corte	Obras de aterro	1,3-1,5
	Muros de suporte, escavações	1,5-2,0
	Fundações	2,0-3,0
Percolação	Levantamento Hidráulico	1,5-2,0
	Gradiente de saída, piping	2,0-3,0
Carga de rotura de estacas	Ensaio de carga	1,5-2,0
	Fórmulas dinâmicas	3,0

Esse coeficiente não é utilizado atualmente, porém ele foi aplicado ao programa de cálculo para possíveis avaliações com o método dos coeficientes parciais de segurança de acordo com o Eurocódigo 7. Para verificação de estabilidade segundo o coeficiente global de segurança é utilizado a seguinte equação:

$$\frac{\tau_r}{F} \geq \tau_s \quad (\text{Equação 21})$$

Onde:

- F – Coeficiente de Segurança Global.

No programa, esse coeficiente é definido pelo usuário. Para uma análise em estado limite, basta utilizar um coeficiente de segurança global igual a 1 pois as tensões solicitantes e resistentes serão iguais.

### 3.3.2 – Coeficiente Parcial de Segurança

Segundo o Instituto Português da Qualidade (IPQ), os Eurocódigos (Tabela 7) estruturais são um conjunto de Normas Europeias (EN) desenvolvidas pelo CEN (Comité Europeu de Normalização), para o projeto estrutural de edifícios e de outras obras de engenharia civil. Resultado de uma decisão política da comissão europeia em 1975, que teve como objetivo harmonizar um conjunto de regras técnicas para projetos estruturais e de outras obras de engenharia civil.

Este método usa coeficientes de segurança parciais e tem na sua base considerações de tipo probabilístico (Henriques, 1998).

Tabela 7 - Lista dos Eurocódigos Estruturais. (Fonte: IPQ)

NP EN 1990	Eurocódigo 0 – Bases para o projeto de estruturas
NP EN 1991	Eurocódigo 1 – Ações em estruturas
NP EN 1992	Eurocódigo 2 – Projetos de estruturas de betão
NP EN 1993	Eurocódigo 3 – Projeto de estruturas de aço
NP EN 1994	Eurocódigo 4 – Projeto de estruturas mistas aço-betão
NP EN 1995	Eurocódigo 5 – Projeto de estruturas de madeira
NP EN 1996	Eurocódigo 6 – Projetos de estrutura de alvenaria
NP EN 1997	Eurocódigo 7 – Projeto geotécnico
NP EN 1998	Eurocódigo 8 – Projeto de estruturas para resistência aos sismos
NP EN 1999	Eurocódigo 9 – Projeto de estruturas de alumínio

Segundo Correia o EC7 estabelece uma metodologia (princípios e critérios) e uma terminologia idênticas às já utilizadas nos aspectos estruturais dos projectos. Conforme mostra Figura 27 a seguir:

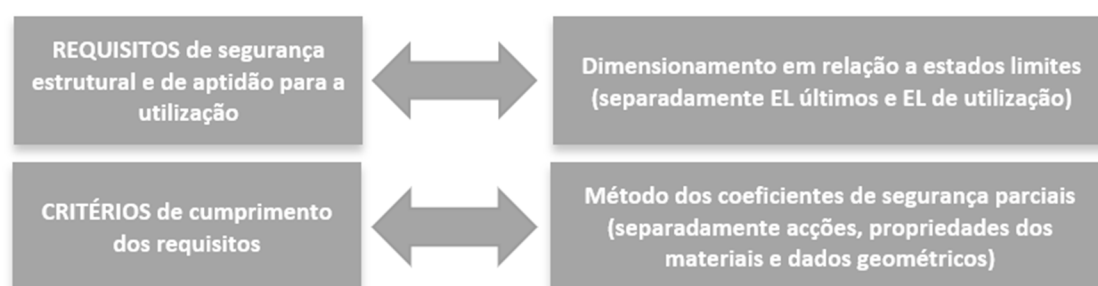


Figura 27 - Princípios e Critérios EC7. (Fonte: Correia, Adaptado)

A norma que será aplicada no presente trabalho será a NP EM 1997. A verificação da estabilidade utilizando o coeficiente parcial de segurança segundo o Eurocódigo 7 é utilizado de forma diferente do método utilizando coeficiente global de segurança, porém, possui o mesmo objetivo de minorar a tensão resistente. Os coeficientes parciais a serem utilizados são descritos conforme apresenta a Tabela 8:

Tabela 8 - Tabela de coeficientes parciais de segurança de acordo com o EC7. (Fonte: NP EN 1997-1:2010)

Combinação	Acções ( $\gamma_F$ )			Propriedades do Terreno ( $\gamma_M$ )		
	Permanentes ( $\gamma_G$ )		Variáveis ( $\gamma_Q$ )	$tg\phi'$	$c'$	$C_u$
	Desf.	Fav.	Desf.			
<b>1</b>	1,35	1,00	1,50	1,10	1,00	1,00
<b>2</b>	1,00	1,00	1,30	1,25	1,25	1,40

Porém de acordo com o anexo nacional, nos problemas de estabilidade de taludes os coeficientes de segurança parciais a usar na combinação 2 para  $\text{tg}\phi'$  e para  $c'$  devem ser tomados iguais a 1,5.

Devido aos valores definidos para ações serem igual a 1 para o tipo de estudo do presente trabalho, a aplicabilidade só é realizada na tensão resistente, logo, os valores na equação ficam da seguinte forma:

$$\tau = \frac{c'}{1,5} + \sigma' \cdot \left( \frac{\text{tg}\phi'}{1,5} \right) \quad (\text{Equação 22})$$

Como os valores da tensão solicitante não são alterados, para determinar o fator de segurança utilizando o coeficiente parcial de segurança, é feito o cálculo novamente com o novo valor da tensão resistente.

### **3.4 – SOLUÇÕES DE ESTABILIZAÇÃO**

Caso haja um resultado insatisfatório na análise, ou seja, instabilidade do talude, é necessário aplicar algumas soluções de reforço e estabilização, seja ela de forma passiva como alteração da geometria do talude e redução de altura, ou de forma ativa com solução estrutural como pregagens e ancoragens por exemplo. Há também outros métodos de estabilização como alteração da inclinação do talude, drenagem superficial e profunda, entre outros.

No presente trabalho serão abordadas as principais soluções de estabilização para taludes infinitos naturais.

#### **3.4.1 – Redução da Altura**

Como a geometria do talude é um dos principais fatores na análise de estabilidade, a redução da altura é uma das soluções menos onerosas se comparada às soluções estruturais. A remoção de massa na zona ativa reduz o peso do solo influenciando diretamente no esforço solicitante, como observa-se na equação 1.

A redução da altura (Figura 28) não é a melhor alternativa em zonas já construídas ou com infraestruturas relevantes, podendo ser acompanhadas de aterros no pé quando se tratar de taludes naturais que envolvam grandes volumes.

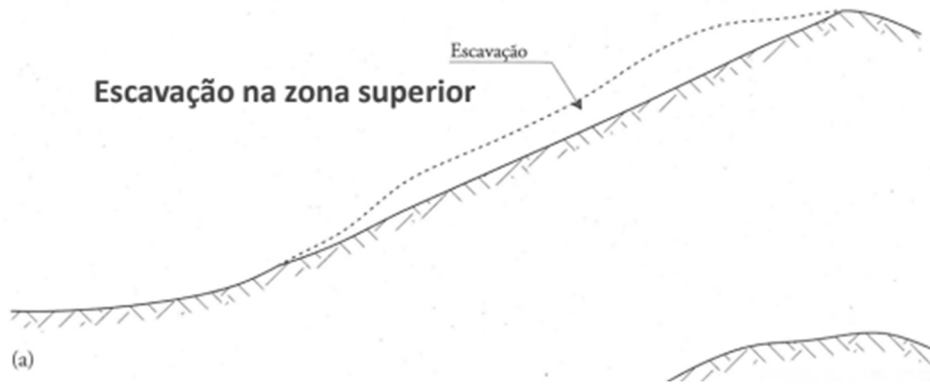


Figura 28 – Representação de uma escavação. (Fonte: Matos Fernandes)

Para aplicação no programa de cálculo, foi necessário a adaptação para os diversos tipos de taludes. Partindo do pressuposto que já foi aplicado uma drenagem profunda, não sendo considerado o nível freático em questão, conforme mostra a Figura 29 a seguir:

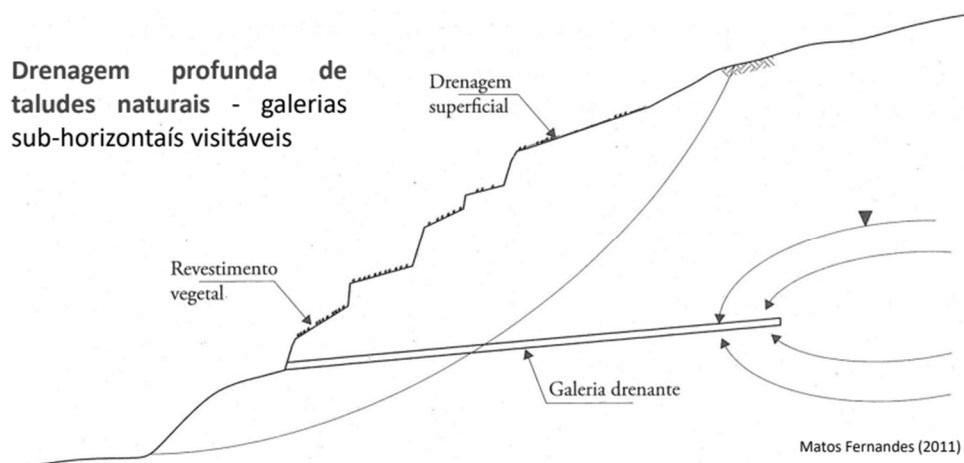


Figura 29 – Representação de uma drenagem profunda. (Fonte:Matos Fernandes)

A solução adotada foi aplicar uma formulação desenvolvida igualando os valores resistentes e solicitantes, e isolando a altura para utilizar apenas a necessária para haver estabilidade.

Em casos que há várias camadas, foi desenvolvido um método que analisa e aplica a formulação desenvolvida para cada camada até obter estabilidade em todas. O processo de cálculo começa na camada mais superficial e segue para a mais profunda. O fluxograma apresentado na Figura 30 representa melhor esse processo:



Figura 30 - Fluxograma do processo de cálculo de redução de altura. (Fonte: Autoral)

O processo de cálculo segue de acordo com o fluxograma apresentado, sendo iniciado na primeira camada, aplica-se a formulação e verifica-se a estabilidade do talude. Caso ainda apresente instabilidade, é removida essa camada e refeito o processo de cálculo para a próxima camada inferior.

Essa estrutura de repetição acontece até encontrar a estabilidade do talude, então assim é apresentado os resultados.

### 3.4.2 – Pregagens

Um dos reforços que teve grande desenvolvimento de acordo com os extraordinários resultados obtidos. A principal característica desse método é a utilização da resistência inicial do solo com meios ligeiros de suporte. A técnica consiste em aplicar por furação ou vibro-escavação barras de aço ou material sintético no solo, a fim de aumentar sua resistência ao corte e à tração, conforme mostra Figura 31.

As pregagens são uma técnica de estabilização de maciços *in situ* por meio de inclusões lineares que, geralmente, possuem carácter passivo e podem suportar esforços axiais, de flexão e de corte (Schlosser, 1982).

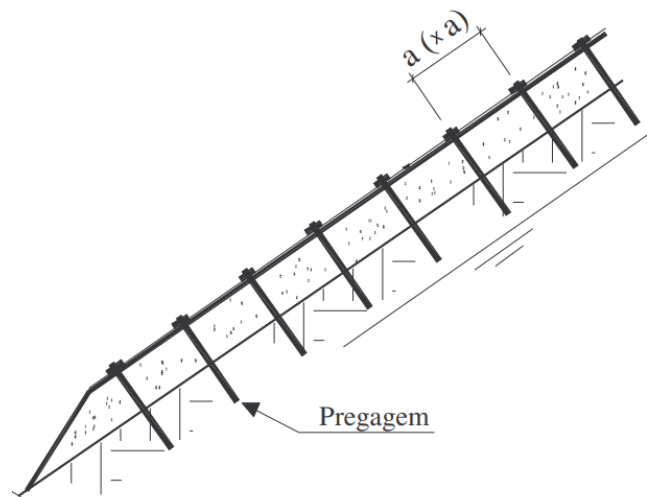


Figura 31 - Representação da aplicação de pregagens. (Fonte: Miguel de Paula)

A forma como as pregagens são introduzidas no terreno são por meio de três tipos de tecnologias. A primeira por meio de cravação, onde é introduzido diretamente no solo através de percussão, vibração ou propulsão. A segunda inserindo em um furo que foi realizado prévio à colocação das pregagens, de pequeno diâmetro e realizado uma selagem com calda cimentícia. A terceira forma é por auto perfuração, onde o próprio corpo da pregagem faz parte do processo construtivo, onde a armadura é colocada à roto-percussão, sendo aplicada calda cimentícia simultaneamente ao processo.

Existem vantagens e desvantagens que devem ser levados em consideração na escolha da solução de estabilidade, que são demonstradas na Tabela 9 a seguir:

Tabela 9 - Vantagens e desvantagens utilização de pregagens. (Fonte: J. Lucas, 2016)

Vantagens	A sua aplicação é rápida e flexível sendo necessários poucos equipamentos mecânicos, o que possibilita a execução em locais exíguos e de difícil acesso.
	Existe a possibilidade de adaptação da orientação, comprimento ou densidade de pregagens conforme as condicionantes geológicas observadas durante a execução.
	O método construtivo possibilita um impacto ambiental reduzido, um resultado final agradável do ponto de vista estético e um custo competitivo face a outras soluções.
Desvantagens	Nas pregagens com carácter definitivo surgem problemas de durabilidade, sendo necessário adoptar um sistema de proteção à corrosão.
	A aplicação em solos sem coesão, solos argilosos com elevado teor em água e solos que sofram períodos gelo-degelo afetam o mecanismo de resistência da pregagem.
	As deformações necessárias para mobilizar as forças resistentes podem não ser compatíveis com a deformabilidade de estruturas vizinhas.

Para aplicação das pregagens na estabilização de taludes, é adicionado forças diretamente ao solo para aumentar a resistência ao corte, essa tensão gerada pelas pregagens é adicionada diretamente na equação de rotura de Mohr Coulomb (Equação 5).

$$\tau = c' + \sigma'.tg\varphi' + \frac{\tau_{pre}}{a^2} \quad (\text{Equação 23})$$

Onde:

- $\tau_{pre}$  – Tensão aplicada pela pregagem;
- $a$  – Área de influência da pregagem, conforme mostra a Figura 32:

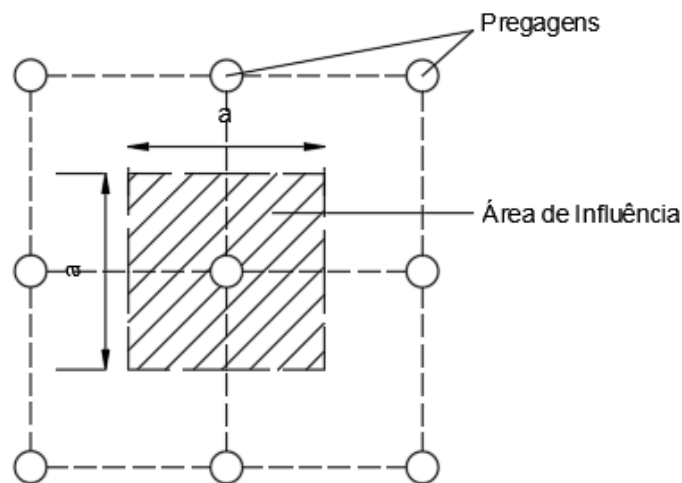


Figura 32 - Representação da área utilizada. (Fonte: Autoral)

Na aplicação do programa foi aplicado os mesmos conceitos citados, colocando as pregagens na camada mais profunda onde há instabilidade.

### 3.4.3 – Ancoragens

A aplicação de ancoragens (Figura 33) é um método que utiliza cordões ou barras pré-tensionadas, que tem por objetivo aumentar a resistência a tensão de corte do maciço, provocando um aumento de tensões efectivas aplicadas diretamente ao solo.

Sua constituição é forma por três partes principais:

- Cabeça da ancoragem: Elemento utilizado constituído por uma placa de distribuição, placa corta cunhas e dispositivos de proteção, é o que transmite a carga da ancoragem para a estrutura;

- Comprimento livre: Toda região entre o bolbo e a cabeça da ancoragem, onde é distribuído toda a tensão que é transmitida ao solo;
- Bolbo de selagem: Comprimento da ancoragem onde é transmitido a força de tração ao terreno.

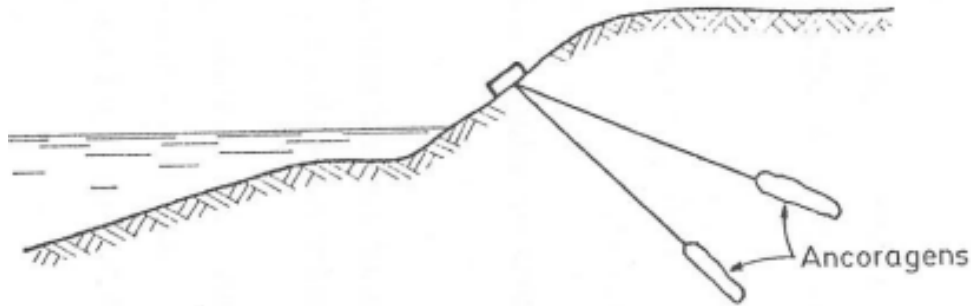


Figura 33 - Representação aplicação de ancoragem. (Fonte: Miguel de Paula)

A forma como as ancoragens são introduzidas no terreno é dividida em quatro fases:

- Furação – Furo para introdução da ancoragem, garantir que após o furo, o fundo fique completamente limpo;
- Introdução da armadura – coloca-se a armadura onde foi furado, deve-se atentar nesse processo afim de identificar defeitos e possíveis danos;
- Injeção da ancoragem – objetivo de formar o bolbo de ancoragem para que a força seja transmitida ao térreo. Essa fase é dividida em duas partes, onde a primeira é a injeção inicial de preenchimento e selagem, a segunda é para garantir a capacidade de resistência do bolbo.
- Aplicação do pré-esforço – Tensionamento da ancoragem utilizando macaco hidráulico e um sistema de pré-esforço.

Para aplicação do sistema no cálculo de estabilidade, é necessário definir algumas aplicações, como inclinação da ancoragem em relação ao terreno (Figura 34), distância entre as ancoragens e força de pré-esforço aplicada.

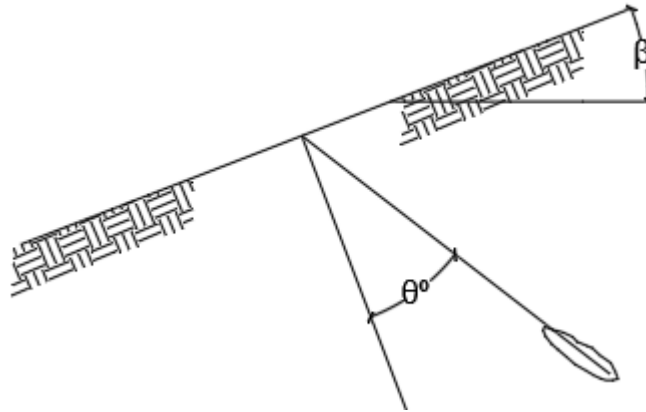


Figura 34 - Representação ângulo de ancoragem. (Fonte: Autoral)

A força de aplicação de ancoragem é refletida diretamente na tensão efectiva do solo e na tensão solicitante:

$$\tau = \frac{T}{b} - \frac{F_a}{a^2} * \cos\theta \quad (\text{Equação 24})$$

$$\sigma' = \frac{N}{b} + \frac{F_a}{a^2} * \text{sen}\theta \quad (\text{Equação 25})$$

Onde:

- $F_a$  – Força de aplicação da ancoragem;
- $a$  – Distância de aplicação;
- $\theta$  – Ângulo de aplicação.

E como nas pregagens, a ancoragem é aplicada até a última camada que houve deslizamento do solo.

### 3.5 – DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA

Os formulários e codificações criados para o programa de cálculo foram desenvolvidos utilizando o *Visual Basic for Applications*, sendo feito inteiramente utilizando a ferramenta de desenvolvedor no Excel. Os bancos de dados utilizados e os relatórios também foram desenvolvidos utilizando a mesma ferramenta, sendo possível realizar futuras alterações com facilidade e praticidade, sendo que, utiliza-se do mesmo arquivo para tudo.

No desenvolvimento foi utilizado todo processo de cálculo demonstrado anteriormente nesse capítulo abordando cada tipo de análise, porém, para melhor visualização e mais praticidade no momento de preenchimento foi feito apenas um formulário (Figura 35).

Figura 35 - Formulário VBA para preenchimento e cálculo. (Fonte: Autoral)

Foi feito um menu para controle das informações lançadas onde pode-se realizar as seguintes funções:

- **INSERIR CAMADA** – Nesse item é inserido uma nova camada, onde é redirecionado para uma nova janela para preenchimento dos dados dessa camada;
- **EXCLUIR CAMADA** – Nesse item é excluído a camada que está selecionada na caixa de listagem;
- **RETIRAR (INSERIR) NF** – Nesse item é inserido ou retirado o nível freático, o nome do botão altera de acordo com o que já foi preenchido;
- **CALCULAR** – Nesse item é calculado a estabilidade do talude de acordo com o que foi preenchido e é apresentado os resultados do fator de segurança;
- **SOLUÇÕES** – Nesse item é aberto uma nova janela para analisar as soluções para o talude estudado, para aceder é necessário já ter calculado o talude e ele apresentar instabilidade;

- **RESETAR** – Ao clicar nesse item é resetado tudo que foi preenchido;
- **VOLTAR** – Ao clicar retorna à janela anterior.

Primeiramente foi definido o problema a ser resolvido, no qual, a avaliação de estabilidade dos taludes, então foi agrupado todos os tipos de influências relativas ao talude em estudo. Com as equações definidas para cada tipo de talude, foi criado uma equação universal que contempla todas as variáveis para definição de fator de segurança utilizando coeficiente global de segurança e coeficientes parciais de segurança de acordo com o Eurocódigo 7.

Com a equação que contempla todas as variáveis definida, foi desenvolvido o processo de cálculo que contempla uma camada e depois utilizado estrutura de repetição para aplicação em qualquer quantidade de camadas, sendo efetuado o cálculo de acordo com o preenchimento do usuário. Na tabela 10 é apresentado a equação definido junto à codificação utilizada:

Tabela 10 - Codificações das equações utilizadas. (Fonte:Autorial)

Codificação da Equação para Coeficiente Global de Segurança	TENSÃO SOLICITANTE	VBA.FormatNumber(Round(Wac * Sin((a * PI / 180)) + Wac * kv * Sin((a * PI / 180)) + Wac * kh * Cos((a * PI / 180)) + Wsa * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kh * Cos((a * PI / 180)) + Ja, 5)) 'SOLICITANTE
	TENSÃO RESISTENTE	VBA.FormatNumber(Round(c + (Wac * Cos((a * PI / 180)) + Wac * kv * Cos((a * PI / 180)) - Wac * kh * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * Cos((a * PI / 180)) - Wsa * kh * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Cos((a * PI / 180))) * Tan((aa * PI / 180)), 5)) 'RESISTENTE
	FATOR DE SEGURANÇA	VBA.FormatNumber(Round((ListBox2.List(x, 5) / f) / ListBox2.List(x, 4), 5)) 'FATOR DE SEGURANÇA
Codificação da Equação para Coeficiente Parcial de Segurança	TENSÃO SOLICITANTE	VBA.FormatNumber(Round(Wac * Sin((a * PI / 180)) + Wac * kv * Sin((a * PI / 180)) + Wac * kh * Cos((a * PI / 180)) + Wsa * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kh * Cos((a * PI / 180)) + Ja, 5)) 'SOLICITANTE
	TENSÃO RESISTENTE	VBA.FormatNumber(Round((c / cps2) + (Wac * Cos((a * PI / 180)) + Wac * kv * Cos((a * PI / 180)) - Wac * kh * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * Cos((a * PI / 180)) - Wsa * kh * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Cos((a * PI / 180))) * (Tan((aa * PI / 180)) / cps1), 5)) 'RESISTENTE

	FATOR DE SEGURANÇA	VBA.FormatNumber(Round(ListBox2.List(x, 2) / ListBox2.List(x, 1), 5)) 'FATOR DE SEGURANÇA
--	--------------------	---

Após definição da codificação e processo de cálculo, foi definido, para análise de estabilidade, um sistema de apresentação de resultados como mostra Figura 36:

Figura 36 - Apresentação dos resultados do programa de cálculo. (Fonte: Autoral)

Os resultados são apresentados por camada, tendo também os valores de tensão solicitante e resistente para cálculo utilizando coeficientes globais de segurança e coeficientes parciais de segurança segundo o Eurocódigo 7. Foi utilizado uma legenda padronizada para apresentação dos resultados, como mostra a Tabela 11.

Tabela 11 - Legenda da apresentação de resultados do programa. (Fonte: Autoral)

LEGENDA DA APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS	
CPS – Ts	Tensão solicitante utilizando coeficiente parcial de segurança
CPS - Tr	Tensão resistente utilizando coeficiente parcial de segurança minorada
CPS - F	Fator de segurança utilizando coeficiente parcial de segurança
CGS – Ts	Tensão solicitante utilizando coeficiente global de segurança
CGS - Tr	Tensão resistente utilizando coeficiente global de segurança não minorada
CGS - F	Fator de segurança utilizando coeficiente global de segurança

Camadas que apresentam um valor satisfatório retornam nas colunas de análise o valor “OK” e caso contrário “-“, como mostra o exemplo na Figura 37:

**RESULTADOS**

Camada(s)	CPS - Ts	CPS - Tr	CPS - F	CGS - Ts	CGS - Tr	CGS - F	ANÁLISE CPS	ANÁLISE CGS
Camada 1	46,98463	37,68845	0,80214	46,98463	47,11057	1,00268	-	OK
Camada 2	63,8991	45,4963	0,712	63,8991	56,87037	0,89	-	-
Camada 3	162,56682	127,23449	0,78266	162,56682	159,04311	0,97832	-	-

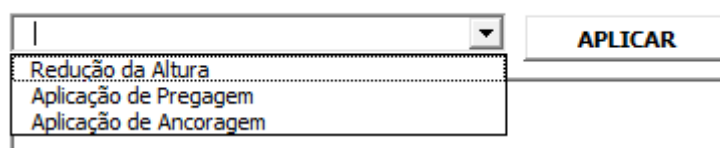
Figura 37 - Exemplo apresentação dos resultados no programa. (Fonte: Autoral)

Por fim, foi feito um formulário para análise e aplicação de soluções de estabilidade para caso os estudos que forem feitos sejam insatisfatórios, ou seja, não apresentem estabilidade (Figura 38):

Figura 38 - Formulário VBA para análise dos resultados e aplicação de soluções de estabilidade. (Fonte: Autoral)

Nesse formulário prezou-se pela demonstração dos resultados para os três tipos de soluções que foram desenvolvidas, sendo necessário escolher a solução (Figura 39) a ser utilizada e depois efetuar o cálculo.

**Selecione o tipo de solução a ser adotada:**



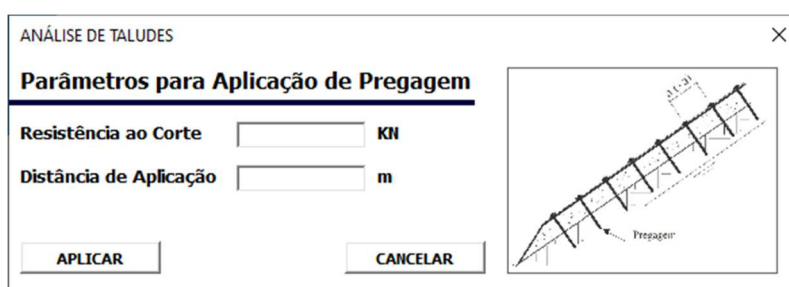
A dropdown menu with three options: 'Redução da Altura', 'Aplicação de Pregagem', and 'Aplicação de Ancoragem'. To the right of the menu is a button labeled 'APLICAR'.

Figura 39 - Seleção do tipo de solução no formulário. (Fonte: Autoral)

Para todas as soluções foi partido do pressuposto que houve drenagem do talude antes da aplicação, logo, para aplicação em casos reais já se considera que foi inserido um dreno no talude para redução total do nível freático caso tenha.

Na solução de redução de altura não necessita de preenchimento de nenhuma informação adicional, o programa já retorna os valores de redução de acordo com o que já foi preenchido, porém essa solução não se aplica a solos puramente friccionais pois não há influência direta nos fatores de segurança para esse tipo de solo. A forma de cálculo que se optou foi o reconhecimento da menor altura para os dois casos (Coeficiente global de segurança e coeficientes parciais de segurança de acordo com o Eurocódigo 7), retornando o cálculo principal apresentando os resultados com a altura crítica e já calculado, conforme mostra o fluxograma na Figura 30.

Já para as soluções de estabilidade ativas, necessita do complemento de informações adicionais de acordo com o tipo de aplicação que será realizado. Para as pregagens (Figura 40) os valores de força de pregagem e distância de aplicação, já para ancoragens (Figura 41) é necessário preencher os valores de força de aplicação, distância e ângulo das ancoragens:



ANÁLISE DE TALUDES

**Parâmetros para Aplicação de Pregagem**

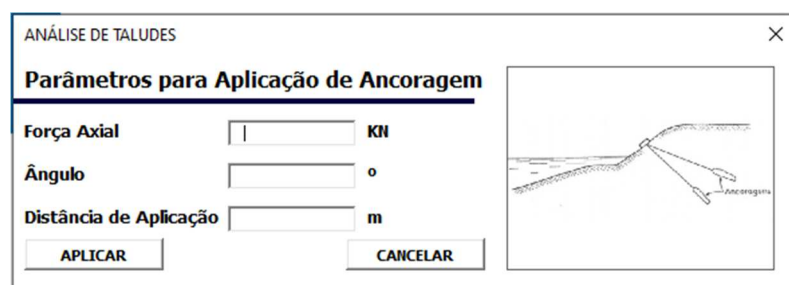
Resistência ao Corte  KN

Distância de Aplicação  m

APLICAR CANCELAR

Diagrama de um talude com pregagens.

Figura 40 - Formulário para preenchimento de informação dos parâmetros para aplicação de pregagem. (Fonte: Autoral)



ANÁLISE DE TALUDES

**Parâmetros para Aplicação de Ancoragem**

Força Axial  KN

Ângulo  °

Distância de Aplicação  m

APLICAR CANCELAR

Diagrama de um talude com ancoragens.

Figura 41 - Formulário para preenchimento de informação dos parâmetros para aplicação de ancoragem. (Fonte: Autoral)

Para uma melhor visualização e entendimento, todo o método de utilização do programa é apresentado no manual do usuário que se encontra no anexo I do presente trabalho, além da codificação aplicada para análise de estabilidade e de soluções de estabilidade.

## 4 – CASOS DE ESTUDO E ANÁLISE

Para aplicação do programa desenvolvido e análise dos cálculos, ele deve atender as expectativas e gerar resultados condizentes com o esperado. Será realizado a aplicação em estudos de casos práticos para alguns taludes além de analisar os resultados de acordo com os coeficientes de segurança globais e parciais segundo o Eurocódigo 7 e avaliar as soluções a fim de realizar comparações paramétricas.

### 4.1 – DESCRIÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO

No caso de estudo, serão avaliadas diversas aplicações com um talude em todas as condições que o programa pode calcular, será utilizado solos puramente friccionais e material com coesão e ângulo de atrito. As características mecânicas dos solos que serão considerados no estudo são apresentadas na Tabela 12:

Tabela 12 - Tabela com as características mecânicas dos solos que utilizados no estudo. (Fonte: Autoral)

Propriedades Mecânicas do Solo			
Solo	Peso Específico (kN/m <sup>3</sup> )	Coesão (kPa)	Ângulo de Atrito (°)
1	16	0	25
2	18	0	30
3	19	0	35
4	20	0	40
5	22	0	45
6	13	5	25
7	15	12	30
8	17	25	35

Por simplificação o peso volumétrico do solo será considerado igual caso esteja seco ou saturado. Será utilizado o programa para cada tipo de solo em um talude, a fim de verificar os resultados que o programa gera e realizar estudos comparativos de estabilidade usando a metodologia dos coeficientes parciais de segurança definidos pelo Eurocódigo 7 e os coeficientes globais de segurança.

Para o caso de estudo, será utilizado um talude natural padrão (Figura 42) com uma camada de 3 metros de altura e inclinação de 30°.

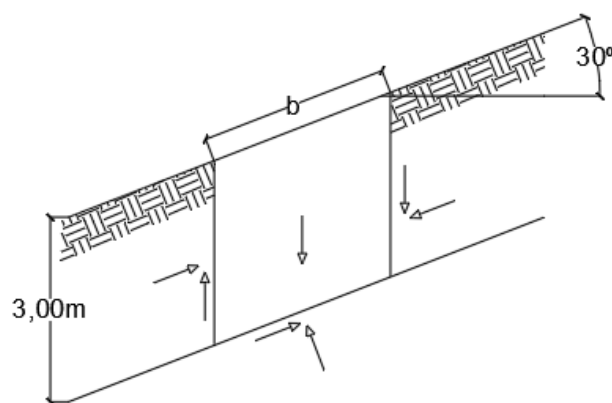


Figura 42 - Representação talude do estudo de caso. (Fonte: Autoral)

Além da avaliação de estabilidade, será analisado para cada caso, soluções de estabilização a fim de realizar estudo comparativos com parâmetros pré-estabelecidas.

## 4.2 – RESULTADOS

### 4.2.1 – Talude Homogêneo sem Nível Freático – Análise Estática

No primeiro estudo foi aplicado uma análise estática, ou seja, sem a influência da ação sísmica, além da ausência do nível freático, para o talude com as essas condições os resultados obtidos pelo programa são demonstrados na Tabela 13 a seguir:

Tabela 13 - Resultados do programa de cálculo para talude homogêneo sem nível freático - Análise estática. (Fonte: Autoral)

Solo	CPS-Ts (Kpa)	CPS-Tr (Kpa)	CPS-F	CGS-Ts (Kpa)	CGS-Tr (Kpa)	CGS-F	ANÁLISE CPS	ANÁLISE CGS
1	20,78	11,19	0,54	20,78	16,79	0,54	-	-
2	23,38	15,59	0,67	23,38	23,38	0,67	-	-
3	24,68	19,96	0,81	24,68	29,93	0,81	-	-
4	25,98	25,17	0,97	25,98	37,76	0,97	-	-
5	28,58	33,00	1,15	28,58	49,50	1,15	OK	OK
6	16,89	12,43	0,74	16,89	18,64	0,74	-	-
7	19,49	20,99	1,08	19,49	31,49	1,08	OK	OK
8	22,08	34,52	1,56	22,08	51,78	1,56	OK	OK

Foi utilizado uma legenda na apresentação dos resultados já citada no desenvolvimento no programa, onde:

- CPS – Ts - Tensão solicitante utilizando coeficiente parcial de segurança;

- CPS – Tr - Tensão resistente utilizando coeficiente parcial de segurança;
- CPS – F - Fator de segurança utilizando coeficiente parcial de segurança;
- CGS – Ts - Tensão solicitante utilizando coeficiente global de segurança;
- CGS – Tr - Tensão resistente utilizando coeficiente global de segurança;
- CGS – F - Fator de segurança utilizando coeficiente global de segurança.

Com os resultados obtidos pode-se observar um valor satisfatório em termos de estabilidade para três solos. Os valores de tensão solicitante são iguais para os dois métodos de análise (coeficientes globais de segurança e coeficientes parciais de segurança de acordo com o Eurocódigo 7), porém nota-se uma diferença proporcional entre os estudos, como mostra a Figura 43:

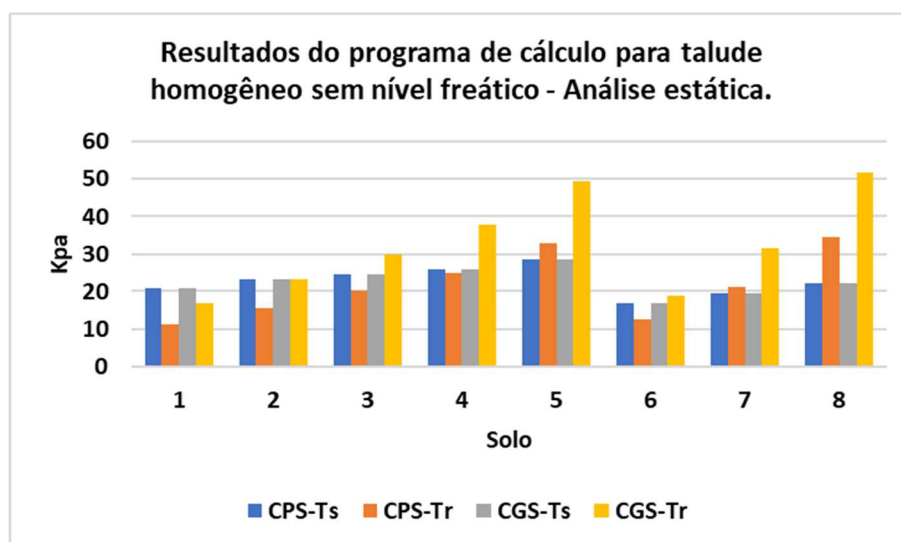


Figura 43 - Resultados de tensões geradas pelo programa para talude homogêneo sem nível freático - Análise estática. (Fonte: Autoral)

Porém essa proporcionalidade entre os dois métodos para tensão resistente não está levando em conta ainda a aplicação do coeficiente, ou seja, os resultados gerados pelo gráfico para análise de acordo com o coeficiente global de segurança não estão minorados, que é aplicado apenas no fator final, quando aplicado os valores se alinham.

O declive resultante entre o solo 5 para o solo 6 acontece devido a diminuição dos valores das características mecânicas entre esses dois solos. A partir do solo 6 tem-se um crescimento maior se comparados os outros solos, vendo assim o impacto da coesão no presente estudo.

#### 4.2.2 – Talude Homogêneo sem Nível Freático – Análise Dinâmica

Na análise dinâmica, com as mesmas condições anteriores, será considerado um coeficiente sísmico horizontal de 0,5 e para coeficiente sísmico vertical 0,25 (0,5\*kh), os resultados gerados pelo programa são apresentados na Tabela 14:

Tabela 14 - Resultados do programa de cálculo para talude homogêneo sem nível freático - Análise dinâmica. (Fonte: Autoral)

Solo	CPS-Ts (Kpa)	CPS-Tr (Kpa)	CPS-F	CGS-Ts (Kpa)	CGS-Tr (Kpa)	CGS-F	ANÁLISE CPS	ANÁLISE CGS
1	43,98	10,76	0,24	43,98	16,14	0,24	-	-
2	49,48	14,99	0,30	49,48	22,48	0,30	-	-
3	52,23	19,18	0,37	52,23	28,78	0,37	-	-
4	54,98	24,20	0,44	54,98	26,30	0,44	-	-
5	60,47	31,72	0,52	60,47	47,59	0,52	-	-
6	35,73	12,07	0,34	35,73	18,11	0,34	-	-
7	41,23	20,49	0,50	41,23	30,73	0,50	-	-
8	46,73	33,83	0,72	46,73	50,75	0,72	-	-

Mesmo não apresentando estabilidade para nenhum estudo, os resultados mostraram ser satisfatórios em termos de desempenho gerados pelo programa. Os valores de tensões solicitantes foram maiores se comparados ao anterior conforme mostra figura 44:

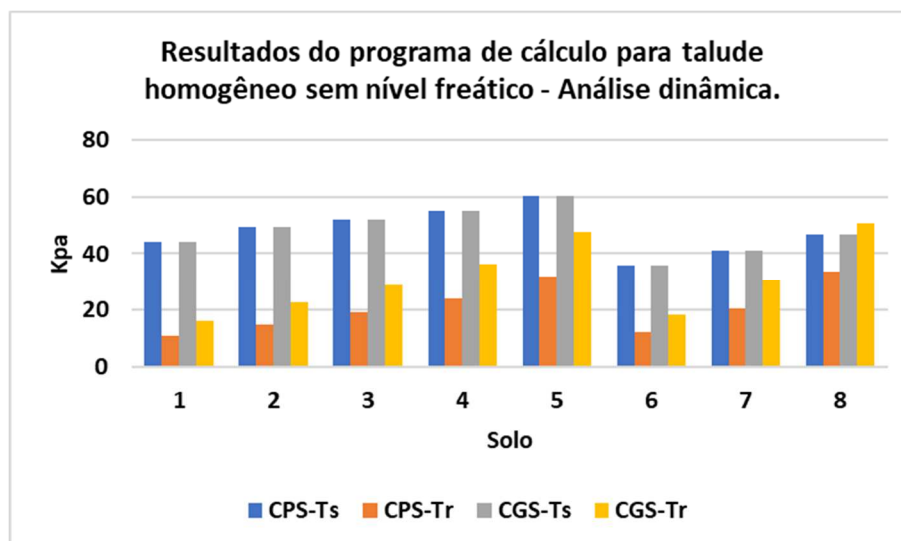


Figura 44 - Resultados de tensões geradas pelo programa para talude homogêneo sem nível freático - Análise estática. (Fonte: Autoral)

Ainda se observa o acompanhamento proporcional entre os dois estudos, obtendo um valor de tensão resistente acima do solicitante para o solo 8 (CGS-Tr), porém como ainda não foi minorado, apresenta um fator de segurança de aproximadamente 0,72 para ambos.

Os valores de tensão solicitante tiveram um aumento de cerca de 211% para todos os solos se comparados à análise estática, ou seja, em condições sísmicas com os parâmetros definidos para o estudo as tensões solicitantes no talude duplicaram, assim como sua variação entre os solos, como mostra a Figura 45.

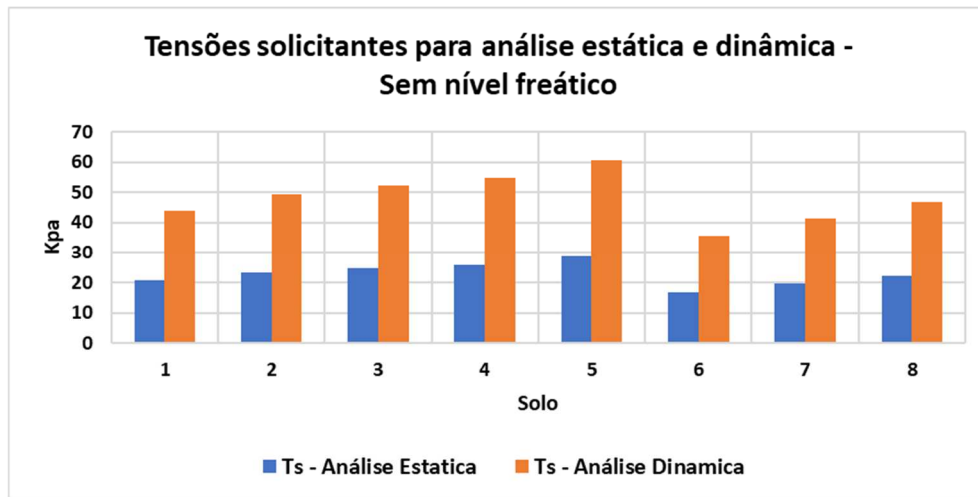


Figura 45 – Resultados de tensões solicitantes para análise estática e dinâmica - Sem nível freático. (Fonte: Autoral)

Para ambas as análises os resultados gerados pelo programa foram de acordo com o previsto, apresentando assim uma validação positiva das informações geradas por ele.

#### 4.2.3 – Talude Homogêneo com Nível Freático – Análise Estática

Em uma verificação do talude com a influência do nível freático, será considerado que ele se encontra com percolação paralela ao nível da superfície e que a água contém peso específico de aproximadamente  $9,81\text{kN/m}^3$ . Lembrando que será analisado o talude em condições drenadas, ou seja, tensões efectivas, segue os resultados na Tabela 15:

Tabela 15 - Resultados do programa de cálculo para talude homogêneo com nível freático - Análise estática. (Fonte: Autoral)

Solo	CPS-Ts (Kpa)	CPS-Tr (Kpa)	CPS-F	CGS-Ts (Kpa)	CGS-Tr (Kpa)	CGS-F	ANÁLISE CPS	ANÁLISE CGS
1	20,78	4,33	0,21	20,78	6,49	0,21	-	-
2	23,38	7,09	0,30	23,38	10,64	0,30	-	-
3	24,68	9,65	0,39	24,68	14,48	0,39	-	-
4	25,98	12,83	0,49	25,98	19,24	0,49	-	-
5	28,58	18,29	0,64	28,58	27,43	0,64	-	-
6	16,89	5,56	0,33	16,89	8,35	0,33	-	-
7	19,49	12,49	0,64	19,49	18,74	0,64	-	-
8	22,08	24,22	1,10	22,08	36,33	1,10	OK	OK

Nesse estudo considerando condições em tensões efectivas, obteve desempenho satisfatório por parte do programa, porém apenas um solo (Solo 8) houve estabilidade (segurança). Nota-se que houve uma igualdade de valores de tensões solicitantes entre a análise com influência da água e sem a influência dela em condições estáticas. Obteve-se esses resultados similares devido a utilização de valores iguais para peso específico e peso específico saturado.

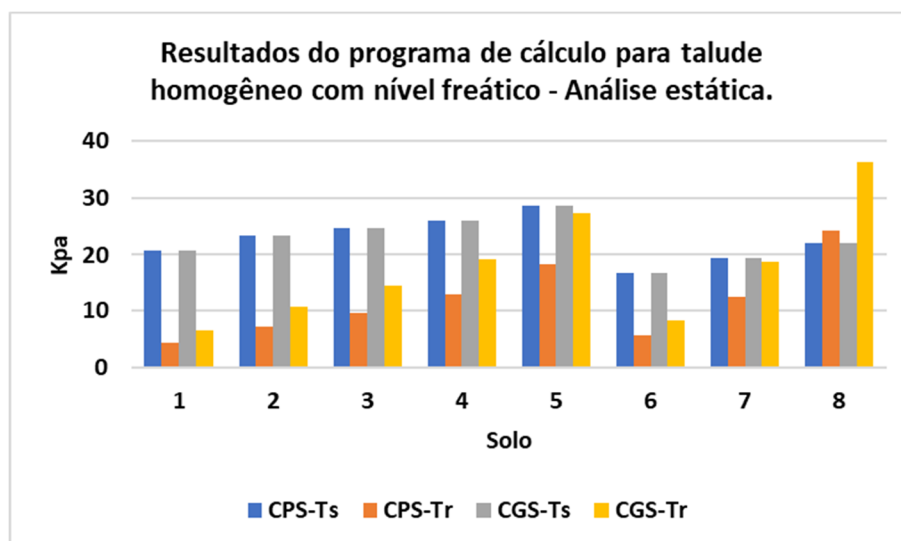


Figura 46-Resultados de tensões geradas pelo programa para talude homogêneo com nível freático - Análise estática. (Fonte: Autoral)

Como mostra a Figura 46, a diferença de valores de tensão resistente para coeficiente global de segurança e coeficiente parcial de segurança segundo o Eurocódigo 7 seguiu de forma proporcional para todos os solos, porém como citado anteriormente, os valores para CGS ainda não foram minorados.

Se comparado ao estudo sem nível freático não houve mudanças nas tensões solicitantes como supracitado, porém para as tensões resistentes esse impacto foi perceptível, porém, de forma não proporcional (Figura 47).

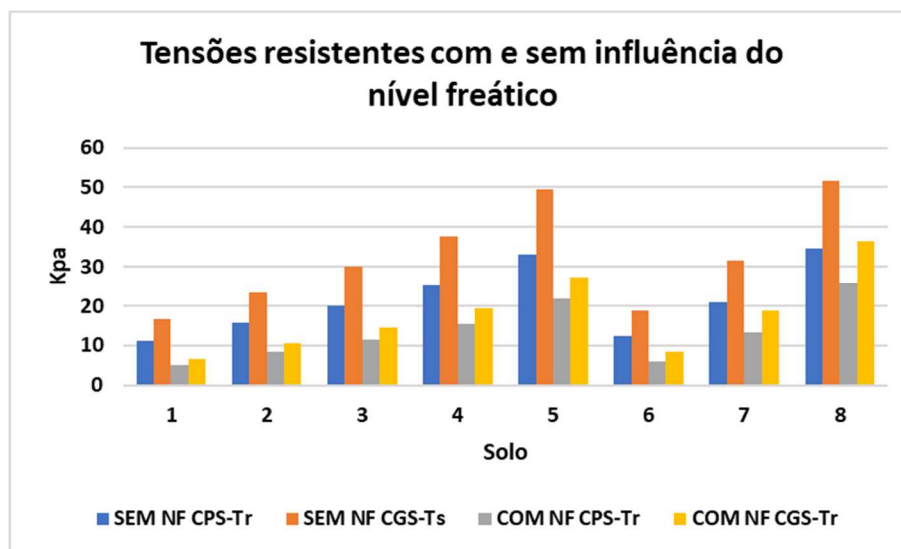


Figura 47 - Tensões resistentes com e sem influência do nível freático. (Fonte: Autoral)

#### 4.2.4 – Talude Homogêneo com Nível Freático – Análise Dinâmica

Para análise dinâmica com nível freático será considerado os mesmos coeficientes sísmicos definidos anteriormente, porém com influência da percolação paralela à superfície, os resultados são apresentados na Tabela 16:

Tabela 16 - Resultados do programa de cálculo para talude homogêneo com nível freático - Análise dinâmica. (Fonte: Autoral)

Solo	CPS-Ts (Kpa)	CPS-Tr (Kpa)	CPS-F	CGS-Ts (Kpa)	CGS-Tr (Kpa)	CGS-F	ANÁLISE CPS	ANÁLISE CGS
1	29,76	4,16	0,14	29,76	6,21	0,14	-	-
2	35,26	6,82	0,19	35,26	10,23	0,19	-	-
3	38,01	9,28	0,24	38,01	13,92	0,24	-	-
4	40,75	12,33	0,30	40,75	18,49	0,30	-	-
5	46,25	17,58	0,38	46,25	26,37	0,38	-	-
6	21,51	5,48	0,25	21,51	8,22	0,25	-	-
7	27,01	12,32	0,46	27,01	18,48	0,46	-	-
8	32,51	23,93	0,74	32,51	35,89	0,74	-	-

Nesse estudo de estabilidade obteve instabilidade em todos os solos, tendo como maior fator de segurança para o solo 8 (0,74). Nota-se que a influência de nível freático ao nível da

superfície junto a condições sísmicas apresenta variações maiores na tensão solicitante se comparados aos resultados anteriores (Figura 48).

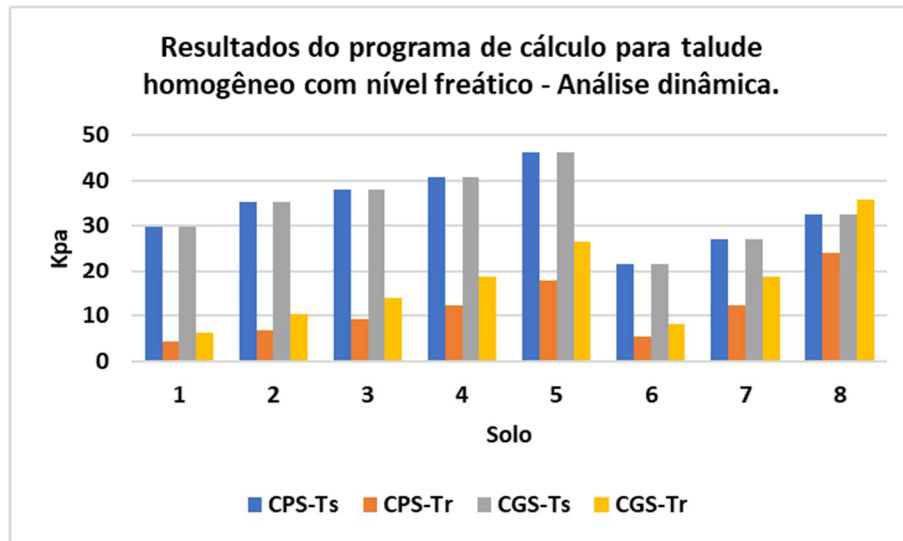


Figura 48 - Resultados de tensões geradas pelo programa para talude homogêneo com nível freático - Análise dinâmica. (Fonte: Autoral)

Percebe-se também que para esse estudo, houve diferença entre as tensões solicitantes se comparados à análise dinâmica de um talude sem nível freático, tendo uma redução dessas tensões no solo e não sendo proporcional à análise estática como o estudo anterior, como apresenta a Figura 49 a seguir:

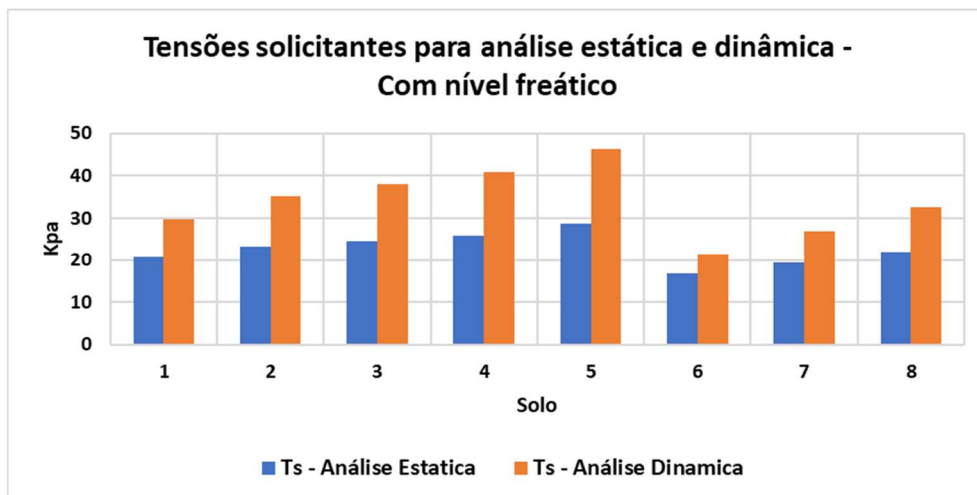


Figura 49 - Tensões solicitantes para análise estática e dinâmica - Com nível freático. (Fonte: Autoral)

Apresentou também variações maiores entre os solos, porém não tendo tensões muito grandes, notando assim um valor menor em relação ao mesmo tipo de análise, porém sem nível freático.

#### 4.2.5 – Coeficiente Global de Segurança

Analisando os resultados, para o talude homogêneo estudado nas diversas condições, houve instabilidade na maioria delas para todo tipo de solo, obtendo resultados de fatores de segurança exatamente igual aos resultados utilizando os coeficientes parciais de segurança.

Nota-se pela Figura 50 que solos puramente friccionais têm um efeito mais negativo quando aplicado condições sísmicas e percolação, havendo apenas uma condição que teve fator de segurança maior que 1 para o estudo feito:

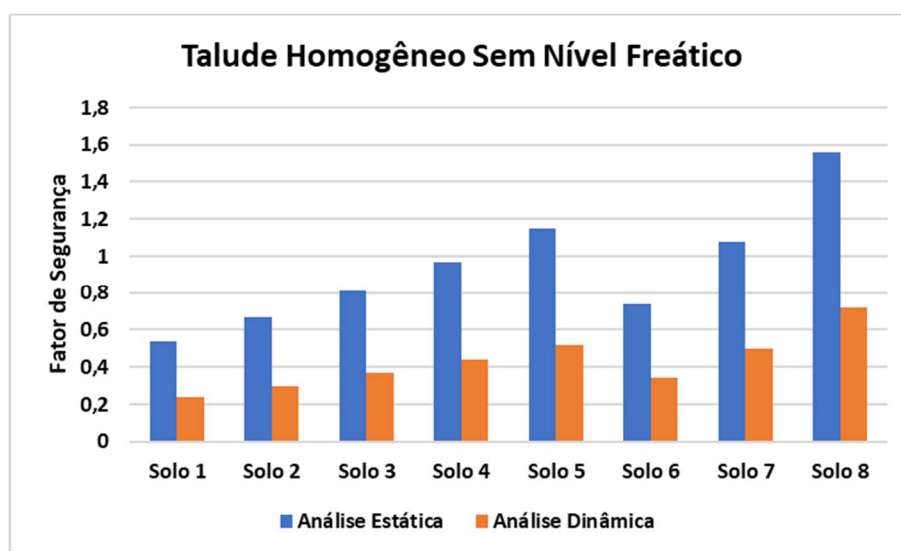


Figura 50 – Fator de segurança talude homogêneo sem nível freático utilizando coeficientes globais de segurança. (Fonte: Autoral)

Para primeira verificação, sem influência da percolação notou-se valores paralelos entre a análise dinâmica e estática, nas qual verifica que os valores dinâmicos representaram cerca de 45% dos valores estáticos, como apresentado a Tabela 17:

Tabela 17 - Relação análise dinâmica/estática para talude homogêneo sem nível freático aplicando coeficiente global de segurança. (Fonte: Autoral)

Solo	Análise Estática	Análise Dinâmica	Análise Dinâmica / Análise Estática
1	0,54	0,24	44%
2	0,67	0,3	45%
3	0,81	0,37	46%
4	0,97	0,44	45%
5	1,15	0,52	45%
6	0,74	0,34	46%
7	1,08	0,5	46%
8	1,56	0,72	46%

Porém para os resultados com influência da percolação esse valor varia para os diferentes tipos de solos, como mostra a Figura 51:

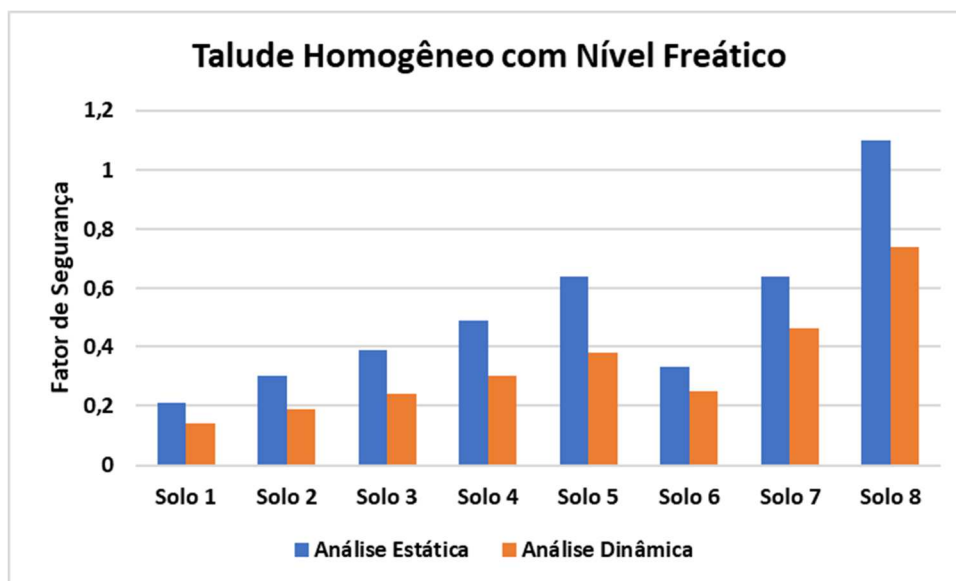


Figura 51 - Resultados talude homogêneo com nível freático utilizando coeficientes globais de segurança. (Fonte: Autoral)

Para o estudo, os valores foram insatisfatórios, porém nota-se valores mais próximo entre a análise estática e análise dinâmica, cerca de 59 a 76%, como mostra a tabela 18 a seguir:

Tabela 18 - Relação análise dinâmica/estática para talude homogêneo sem nível freático aplicando coeficiente global de segurança. (Fonte: Autoral)

Solo	Análise Estática	Análise Dinâmica	Análise Dinâmica / Análise Estática
1	0,21	0,14	67%
2	0,3	0,19	63%
3	0,39	0,24	62%
4	0,49	0,3	61%
5	0,64	0,38	59%
6	0,33	0,25	76%
7	0,64	0,46	72%
8	1,1	0,74	67%

Portanto, para análise utilizando coeficientes globais de segurança houve instabilidade na maioria dos estudos, porém um resultado de desempenho do programa satisfatório, visto que foi de acordo com o esperado.

#### 4.2.6 – Coeficiente Parcial de Segurança

Utilizando os coeficientes parciais de segurança definidos pelo Eurocódigo 7, obtiveram-se valores de fatores satisfatórios, como os coeficientes de minoração são aplicados em variáveis específicas e não na equação como um todo.

Na análise sem influência da percolação a variação do fator de segurança entre os solos 1 e 5 foi aparentemente pequena se comparados aos solos 6 a 8, apresentando estabilidade em apenas 3 estudos em análise estática conforme Figura 52:

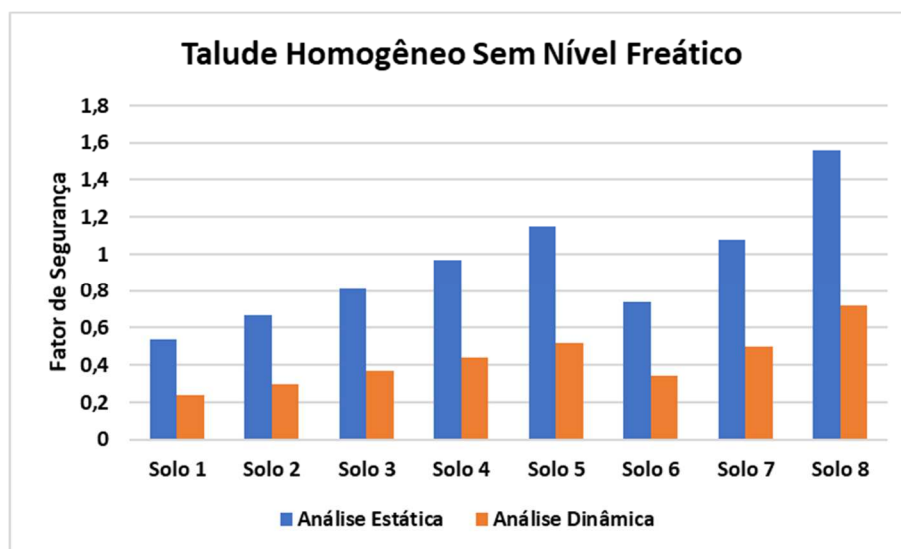


Figura 52 - Resultados talude homogêneo sem nível freático utilizando coeficientes parciais de segurança. (Fonte: Autoral)

Assim como no estudo utilizando coeficientes globais de segurança a variação entre análise estática e dinâmica foi praticamente constante, apresentando variações por volta de 45%, como mostra a Tabela 19:

Tabela 19 - Relação análise dinâmica/estática para talude homogêneo sem nível freático aplicando coeficientes parciais de segurança segundo Eurocódigo 7. (Fonte: Autoral)

Solo	Análise Estática	Análise Dinâmica	Análise Dinâmica / Análise Estática
1	0,65	0,29	45%
2	0,8	0,36	45%
3	0,97	0,44	45%
4	1,16	0,53	46%
5	1,39	0,63	45%
6	0,84	0,39	46%
7	1,21	0,56	46%
8	1,73	0,8	46%

Aplicando a influência do nível freático os resultados não foram tão satisfatórios, havendo apenas um solo com estabilidade em análise estática, como mostra a Figura 53.

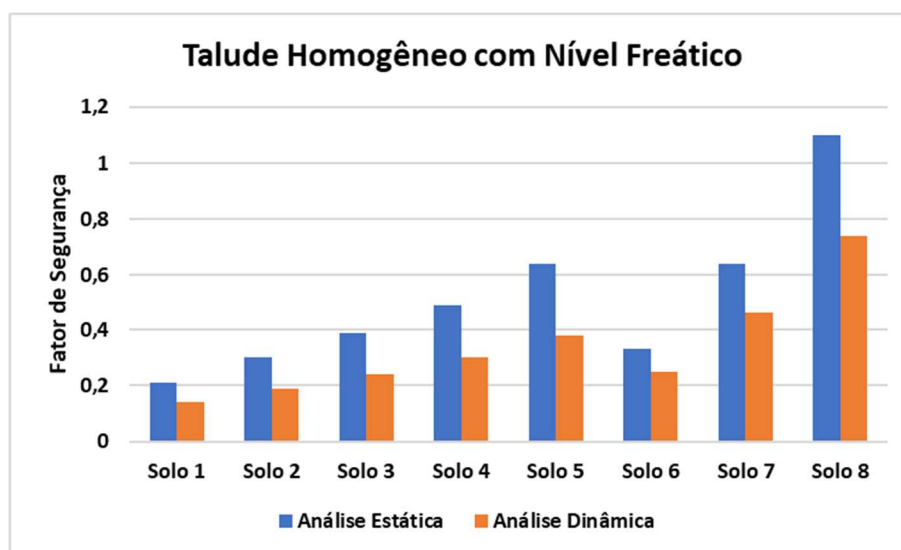


Figura 53 - Resultados talude homogêneo com nível freático utilizando coeficientes parciais de segurança. (Fonte: Autoral)

Tem-se valores mais próximo do fator de segurança de referência para todos os estudos, porém ainda não há resultados satisfatórios em análises dinâmicas e com nível freático. As relações entre análises estáticas e dinâmicas seguem os mesmos resultados definidos anteriormente, não variando para taludes sem influência da percolação paralela à superfície, conforme mostra Tabela 20.

Tabela 20 - Relação análise dinâmica/estática para talude homogêneo com nível freático aplicando coeficientes parciais de segurança segundo Eurocódigo 7. (Fonte: Autoral)

Solo	Análise Estática	Análise Dinâmica	Análise Dinâmica / Análise Estática
1	0,25	0,17	68%
2	0,36	0,23	64%
3	0,47	0,29	62%
4	0,59	0,36	61%
5	0,77	0,46	60%
6	0,36	0,27	75%
7	0,69	0,49	71%
8	1,17	0,78	67%

Portanto, conclui-se que para estudos utilizando os coeficientes parciais de segurança definidos pelo Eurocódigo 7 as variações são relativamente iguais aos do definido pelo coeficiente global de segurança.

## 4.3 – SOLUÇÕES DE ESTABILIZAÇÃO – CASOS DE ESTUDO

### 4.3.1 – Redução da Altura

Conforme apresentado anteriormente, uma das soluções de estabilidade caso haja instabilidade do talude é a redução da altura, nesse subcapítulo será apresentado a redução necessária para cada tipo de solo utilizando o talude referência no programa de cálculo, além de resultados de fator de segurança para diversas alturas para um mesmo solo.

Para as soluções aplicadas, parte do princípio de que já houve drenagem do solo, logo não será analisado taludes com nível freático para solução em questão. Os valores de altura foram variados de 1 a 10 metros em todos os solos, para verificar a altura ideal para cada tipo de solo.

Os solos puramente friccionais com as características mecânicas adotadas são indiferentes para solução de redução de altura, sendo necessário adotar outras soluções para os solos 1 a 5. Portanto para análise em questão será analisado apenas os solos com coesão (Solos 6,7 e 8).

#### 4.3.1.1 – Resultado para Análise Estática

Primeiro será avaliado a altura definida pelo programa, e por fim os resultados de alturas por fator de segurança para coeficiente de segurança global e coeficientes de segurança parciais de acordo com o Eurocódigo 7.

As tabelas 21 e 22 apresentam a redução de altura e resultados gerados pelo programa para a nova altura respectivamente.

Tabela 21 - Redução de altura feita pelo programa em análise estática. (Fonte: Autoral)

Solo	Altura Inicial (m)	Redução de Altura (m)	Altura Final (m)
6	3,00	1,72	1,28
7	3,00	-	3,00
8	3,00	-	3,00

Tabela 22 - Resultados gerados com nova altura em análise estática. (Fonte: Autoral)

Solo	CPS-Ts (Kpa)	CPS-Tr (Kpa)	CPS-F	CGS-Ts (Kpa)	CGS-Tr (Kpa)	CGS-F	ANÁLISE CPS	ANÁLISE CGS
6	7,21	7,21	1,00	7,21	10,82	1,00	OK	OK
7	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota-se que não foi necessário alteração para os solos 7 e 8, pois eles com a altura do talude utilizado no estudo já possuíam estabilidade para ambas as análises. Para o solo 6 houve uma redução para aproximadamente 1,28 metros de altura, ou seja, necessita de redução de aproximadamente 1,72 metros no talude para haver estabilidade.

Como os valores de coeficientes globais e parciais de segurança de acordo com o Eurocódigo 7 apresentaram resultados para fatores de segurança idênticos, foi verificado a variação de estabilidade por altura para um único parâmetro, como mostra a Figura 54 a seguir:

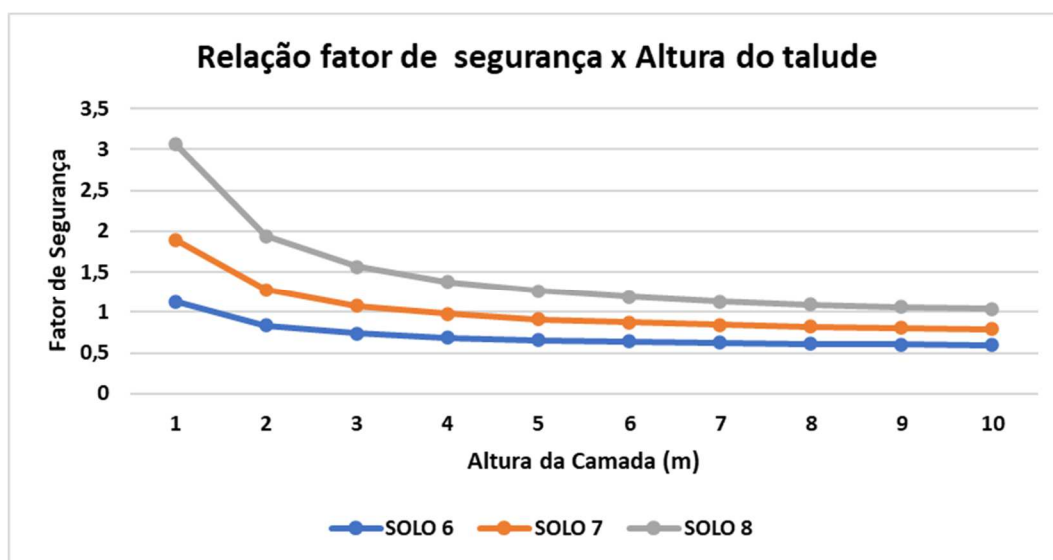


Figura 54 - Relação fator de segurança x altura do talude em análise estática. (Fonte: Autoral)

Nos resultados para diferentes alturas observa-se a elevação do fator de segurança aumenta de forma exponencial conforme reduz a altura da camada do talude, percebendo assim a grande influência da coesão para esse tipo de análise.

#### 4.3.1.2 – Resultado para Análise Dinâmica

Nessa análise será aplicado, conforme já apresentado, situações de condições sísmicas com parâmetros já pré-definidos e realizar verificações da altura ideal para os solos com coesão e ângulo de atrito, já que os solos puramente friccionais a redução de altura não impacta nos fatores de segurança.

As tabelas 23 e 24 apresentam a redução de altura e resultados gerados pelo programa para a nova altura respectivamente.

Tabela 23 - Redução de altura feita pelo programa em análise dinâmica. (Fonte: Autoral)

Solo	Altura Inicial (m)	Redução de Altura (m)	Altura Final (m)
6	3,00	2,63	0,37
7	3,00	2,17	0,83
8	3,00	1,31	1,69

Tabela 24 - Resultados gerados com nova altura em análise dinâmica. (Fonte: Autoral)

Solo	CPS-Ts (Kpa)	CPS-Tr (Kpa)	CPS-F	CGS-Ts (Kpa)	CGS-Tr (Kpa)	CGS-F	ANÁLISE CPS	ANÁLISE CGS
6	4,41	4,41	1,00	4,41	6,62	1,00	OK	OK
7	11,41	11,45	1,00	11,41	17,18	1,00	OK	OK
8	26,32	26,34	1,00	26,32	39,50	1,00	OK	Ok

Nota-se o impacto de condições sísmicas para essa solução, sendo necessário redução de todos os solos no estudo. Para analisar melhor dispõe-se da relação entre fator de segurança e altura do talude na figura 55 a seguir:

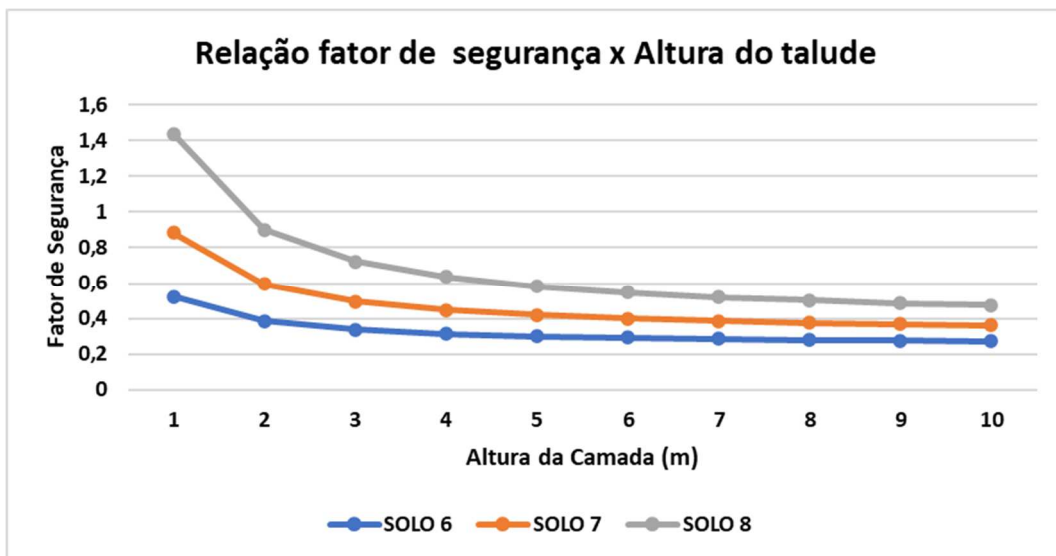


Figura 55 - Relação fator de segurança x altura do talude em análise dinâmica. (Fonte: Autoral)

Mesmo apresentando resultados de instabilidade para maioria dos casos, notou-se uma boa resistência para solos mais coesivos, tendenciando de forma exponencial quando reduzida altura, sendo necessário redução para valores abaixo de 1 metro como mostra a Tabela 24, ou aplicação de outra solução de estabilidade. Análises comparativas serão apresentadas no capítulo 4.4.

### 4.3.2 – Aplicação de Pregagens

Para simplificar, o método de aplicação de pregagem atua de forma passiva, de acordo com a força aplicada. A distância entre as pregagens é um fator importante pois é inversamente proporcional à tensão aplicada nelas.

No estudo em questão, será considerado que houve drenagem do solo, sendo aplicado a solução sem influência do nível freático. Será utilizado uma força de resistência ao corte das pregagens padronizada de 50 kN e distância de aproximadamente 2,5 metros entre as pregagens, conforme mostra a Figura 56 a seguir:

**Selecione o tipo de solução a ser adotada:**

Aplicação de Pregagem

Aplicação de Pregagem	
Resistência ao Corte (kN)	50
Distância de Aplicação (m)	2,5

Figura 56 - Preenchimento de dados das pregagens no programa. (Fonte: Autoral)

Assim como a redução da altura, partiu-se do pressuposto que já houve drenagem do talude, os resultados obtidos no programa de cálculo para os dados inseridos são apresentados na Tabela 25 a seguir:

Tabela 25 - Resultados gerados para solução de pregagem em análise estática. (Fonte: Autoral)

Solo	CPS-Ts (Kpa)	CPS-Tr (Kpa)	CPS-F	CGS-Ts (Kpa)	CGS-Tr (Kpa)	CGS-F	ANÁLISE CPS	ANÁLISE CGS
1	20,79	31,19	1,50	20,79	36,79	1,18	OK	OK
2	23,39	35,59	1,52	23,39	43,39	1,24	OK	OK
3	24,68	39,95	1,62	24,68	49,93	1,35	OK	OK
4	25,98	45,17	1,74	25,98	57,76	1,48	OK	OK
5	28,58	53,00	1,85	28,58	69,50	1,62	OK	OK
6	16,89	32,42	1,92	16,89	38,64	1,53	OK	OK
7	19,49	40,99	2,10	19,49	51,49	1,76	OK	OK
8	22,09	54,52	2,47	22,09	71,78	2,17	OK	OK

Observa-se que para análise em condições estáticas ocorreu estabilidade para todos os solos estudados, porém dessa vez houve variação entre os fatores de segurança para coeficiente de segurança global e parcial segundo Eurocódigo 7. Na Figura 57 mostra melhor essa variação entre os resultados.

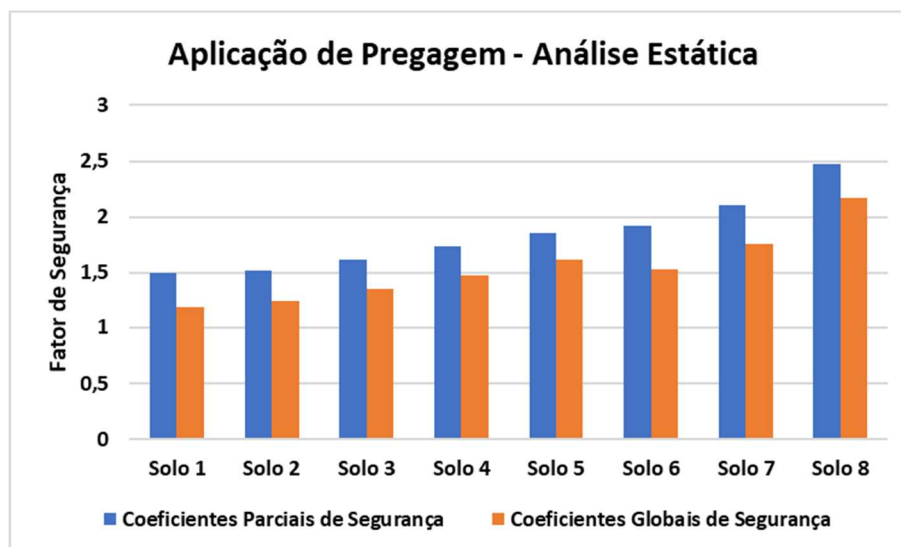


Figura 57 - Resultados da aplicação de pregagem em análise estática. (Fonte: Autoral)

Na análise em condições dinâmicas os resultados foram de instabilidade para maioria dos solos (Tabela 26) devido à utilização parâmetros padronizados para a solução, sendo necessário alterar a distância de pregagem ou resistência ao corte para haver estabilidade, como o foco do trabalho é realizar comparações, não foi incluído na codificação o reconhecimento da resistência ao corte ou distanciamento das pregagens necessário para estabilidade em cada caso.

Tabela 26 - Resultados gerados para solução de pregagem em análise dinâmica. (Fonte: Autoral)

Solo	CPS-Ts (Kpa)	CPS-Tr (Kpa)	CPS-F	CGS-Ts (Kpa)	CGS-Tr (Kpa)	CGS-F	ANÁLISE CPS	ANÁLISE CGS
1	43,98	30,76	0,70	43,98	36,14	0,55	-	-
2	49,48	34,99	0,71	49,48	42,48	0,57	-	-
3	52,23	39,18	0,75	52,23	48,77	0,62	-	-
4	54,98	44,20	0,80	54,98	56,30	0,68	-	-
5	60,47	51,73	0,86	60,47	67,59	0,75	-	-
6	35,73	32,07	0,90	35,73	38,11	0,71	-	-
7	41,23	40,49	0,98	41,23	50,73	0,82	-	-
8	46,73	43,83	1,15	46,73	70,75	1,01	OK	OK

Assim como na análise estática, a variação dos fatores de segurança foi menor, obtendo uma evolução pequena, mas constante para coeficientes parciais de segurança segundo Eurocódigo 7, já para resultados utilizando coeficientes globais o fator de segurança foi constante entre o solo 1 e 5, tendo uma redução quando utilizado o solo 6, como mostra a Figura 58 a seguir:

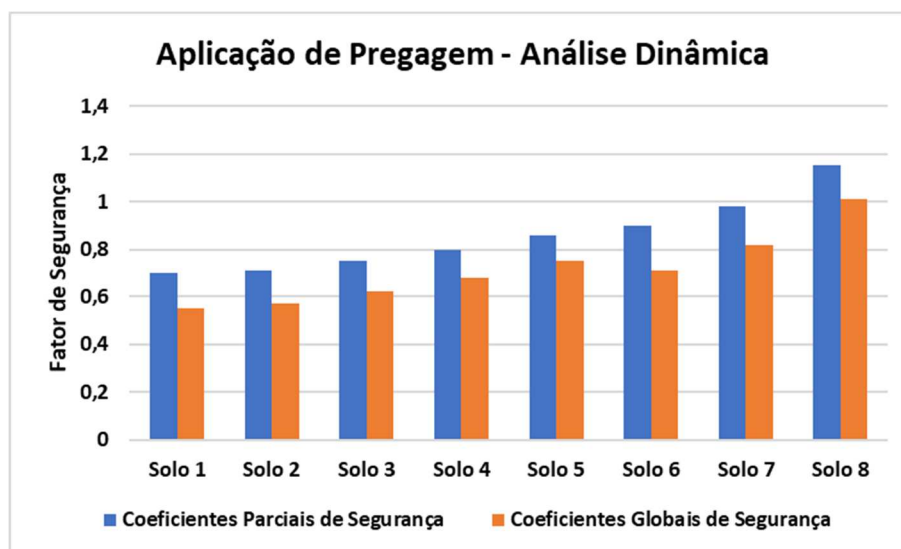


Figura 58 - Resultados da aplicação de pregagem em análise dinâmica. (Fonte: Autoral)

Os resultados obtidos para todos os estudos realizados aplicando pregagens a 2,5 metros de distância com força de aplicação de 50kN foram satisfatórios, apresentando resultados positivos para aproximadamente metade das análises, podendo observar melhor essa afirmação na Tabela 27.

Tabela 27 - Resultados para aplicação de pregagens. (Fonte: Autoral)

	Análise Estática		Análise Dinâmica	
	CPS	CGS	CPS	CGS
<b>SOLO 1</b>	OK	-	-	-
<b>SOLO 2</b>	OK	-	-	-
<b>SOLO 3</b>	OK	-	-	-
<b>SOLO 4</b>	OK	OK	-	-
<b>SOLO 5</b>	OK	OK	-	-
<b>SOLO 6</b>	OK	OK	OK	-
<b>SOLO 7</b>	OK	OK	OK	-
<b>SOLO 8</b>	OK	OK	OK	OK

De 32 análises, 17 obtiveram valores positivos para estabilidade nas condições aplicadas. Teve-se um alinhamento diferente (Figura 59) do apresentado anteriormente nos estudos, porém seguiu-se a proporcionalidade na maioria dos casos, sendo necessário reduzir o

distanciamento das pregagens para alguns tipos de solos para que em condições sísmicas haja estabilidade.

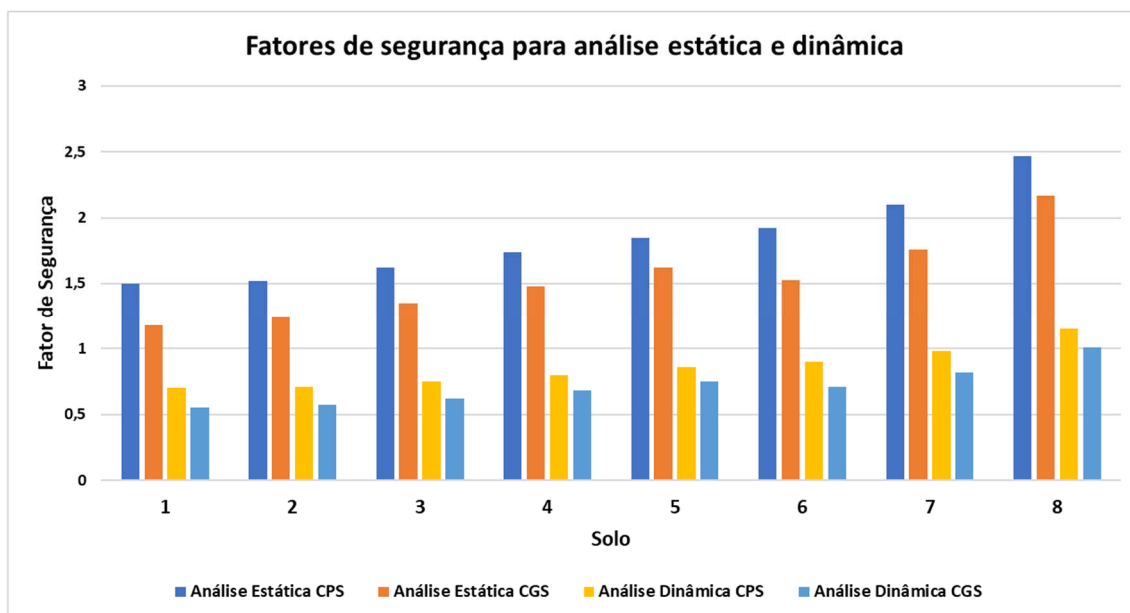


Figura 59 - Fatores de segurança para análise estática e dinâmica. (Fonte: Autoral)

Para o estudo em questão, mesmo com instabilidade em alguns solos em condições dinâmicas o programa teve um desempenho satisfatório em relação aos resultados gerados.

### 4.3.3 – Aplicação de Ancoragens

Para ancoragens, os fatores no cálculo que diferem das pregagens é a ocorrência de forma ativa no solo com aplicação de pré-esforço, além da influência do ângulo de ancoragem de acordo com o ângulo do solo, como referido anteriormente.

Para o estudo em questão foi utilizado uma força axial de ancoragem de 50 kN, distanciadas entre si a 2,5 metros com uma inclinação de 30° relativos ao plano do talude (Figura 60).

**Selecione o tipo de solução a ser adotada:**

Aplicação de Ancoragem

Aplicação de Ancoragem	
Força Axial (kN)	50
Ângulo de Ancoragem (°)	30
Distância de Ancoragem (m)	2,5

Figura 60 - Preenchimento de dados das ancoragens no programa. (Fonte: Autoral)

Para esse estudo, assim como nas pregagens, também foi considerado que houve drenagem prévia do talude, os resultados gerados com os dados inseridos são demonstrados na Tabela 28 a seguir:

Tabela 28 - Resultados gerados para solução de ancoragem em análise estática. (Fonte: Autoral)

Solo	CPS-Ts (Kpa)	CPS-Tr (Kpa)	CPS-F	CGS-Ts (Kpa)	CGS-Tr (Kpa)	CGS-F	ANÁLISE CPS	ANÁLISE CGS
1	10,78	24,33	2,26	10,78	22,00	1,36	OK	OK
2	13,38	27,09	2,02	13,38	28,43	1,42	OK	OK
3	14,68	29,65	2,02	14,68	32,81	1,49	OK	OK
4	15,98	32,82	2,05	15,98	37,46	1,56	OK	OK
5	18,58	38,28	2,06	18,58	44,75	1,61	OK	OK
6	6,89	25,57	3,71	6,89	20,26	1,96	OK	OK
7	9,48	32,49	3,43	9,48	33,67	2,37	OK	OK
8	12,08	44,22	3,66	12,08	53,31	2,94	OK	OK

Os resultados mostraram estabilidade para todos os solos estudados, apresentando coeficientes de segurança em alguns casos 2 ou 3 vezes acima do limite de estabilidade. Nota-se que para coeficientes parciais de segurança segundo o Eurocódigo 7 a influência da coesão do solo tem um impacto muito grande, sendo mais bem apresentado essa diferença na Figura 61 a seguir:

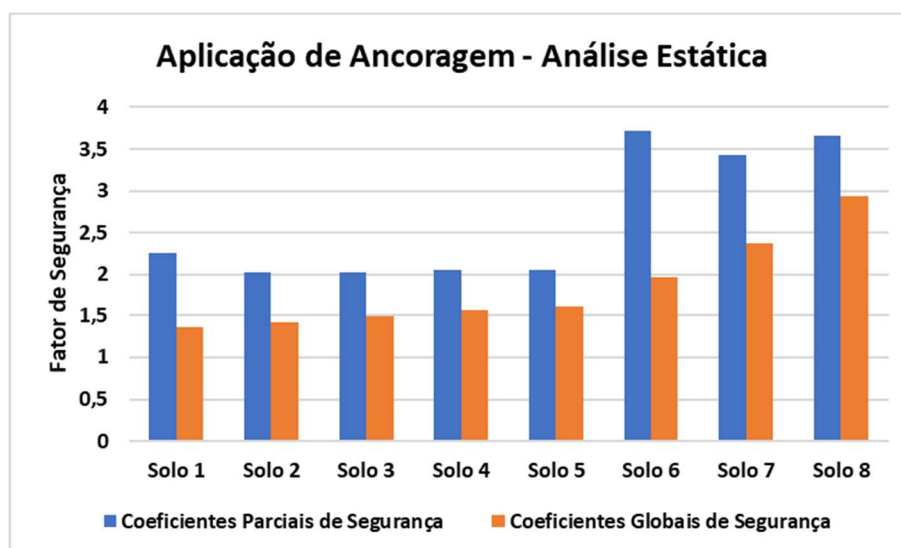


Figura 61 - Resultados da aplicação de ancoragem em análise estática. (Fonte: Autoral)

Os valores não seguiram de forma proporcional se comparados aos outros estudos, porém isso ocorre devido à influência da ancoragem ser diretamente aplicada tanto nas tensões solicitantes quando nas tensões resistentes.

Na análise dinâmica os resultados apresentaram os mesmos padrões, porém com instabilidade em alguns casos, como mostra a Tabela 29 e Figura 62:

Tabela 29 - Resultados gerados para solução de ancoragem em análise dinâmica. (Fonte: Autoral)

Solo	CPS-Ts (Kpa)	CPS-Tr (Kpa)	CPS-F	CGS-Ts (Kpa)	CGS-Tr (Kpa)	CGS-F	ANÁLISE CPS	ANÁLISE CGS
1	19,75	24,16	1,22	19,75	21,46	0,72	OK	-
2	25,25	26,82	1,06	25,25	27,72	0,73	OK	-
3	28,01	29,28	1,05	28,01	32,01	0,76	OK	-
4	30,75	32,33	1,05	30,75	36,57	0,79	OK	-
5	36,25	37,58	1,04	36,25	43,69	0,80	OK	OK
6	11,51	25,48	2,21	11,51	19,98	1,16	OK	OK
7	17,00	32,32	1,90	17,00	33,22	1,30	OK	OK
8	22,50	43,93	1,95	22,50	52,68	1,56	OK	OK

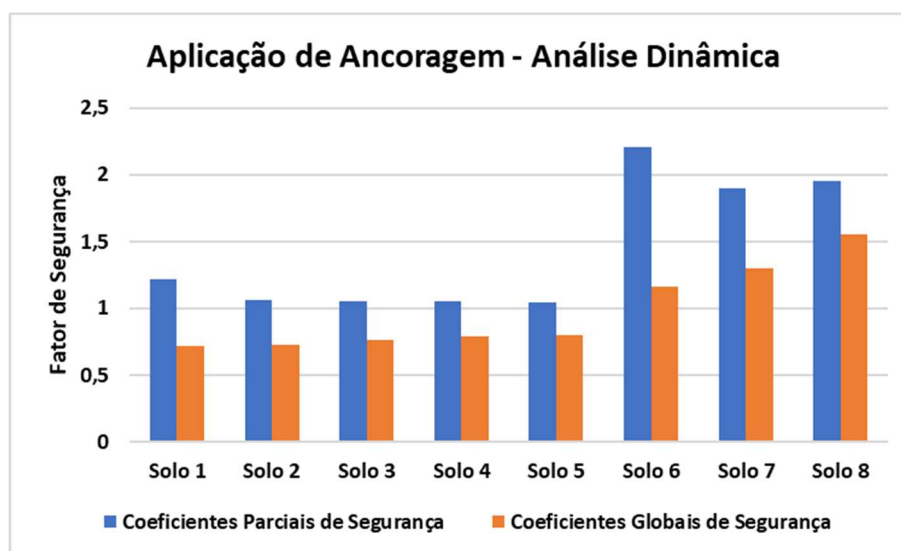


Figura 62 - Resultados da aplicação de ancoragem em análise dinâmica. (Fonte: Autoral)

Os resultados de ancoragens com distanciamento de 2,5 metros com aplicação de 50kN com 30° de inclinação obteve valores satisfatórios em quase todas as condições e solos apresentadas, podendo observar melhor essa afirmação na Tabela 30.

Tabela 30 - Resultados para aplicação de ancoragens. (Fonte: Autoral)

	Análise Estática		Análise Dinâmica	
	CPS	CGS	CPS	CGS
<b>SOLO 1</b>	OK	OK	OK	-
<b>SOLO 2</b>	OK	OK	OK	-
<b>SOLO 3</b>	OK	OK	OK	-
<b>SOLO 4</b>	OK	OK	OK	-
<b>SOLO 5</b>	OK	OK	OK	-
<b>SOLO 6</b>	OK	OK	OK	OK
<b>SOLO 7</b>	OK	OK	OK	OK
<b>SOLO 8</b>	OK	OK	OK	OK

De 32 análises, 27 obtiveram valores positivos para estabilidade nas condições aplicadas. Os resultados apresentaram desproporcionalidade se comparados aos outros, isso se dá devido às condições de pregagens serem afetarem diretamente os valores de tensão solicitante e resistente. O desempenho do programa foi satisfatório para solução de estabilização utilizando ancoragens.

#### **4.4 – COMPARATIVO**

A fim de avaliar os resultados para ambas as análises realizadas foi feito uma comparação entre os resultados de acordo com coeficiente global e segurança e de acordo com os coeficientes parciais de segurança definidos pelo Eurocódigo 7.

Os fatores de segurança foram idênticos para os dois métodos nos dois estudos realizados, como mostra a Figura 63 e 64.

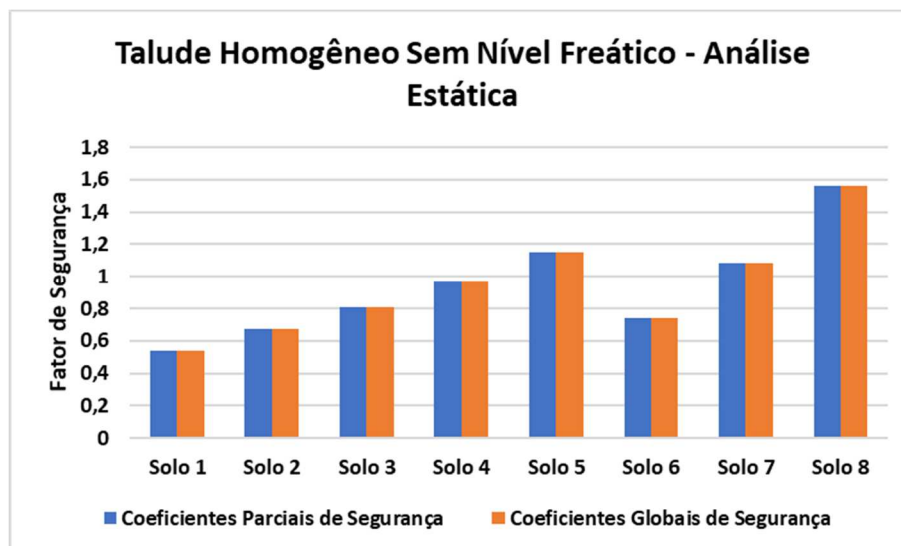


Figura 63- Comparativo de resultados talude homogêneo sem nível freático – Análise estática. (Fonte: Autoral)

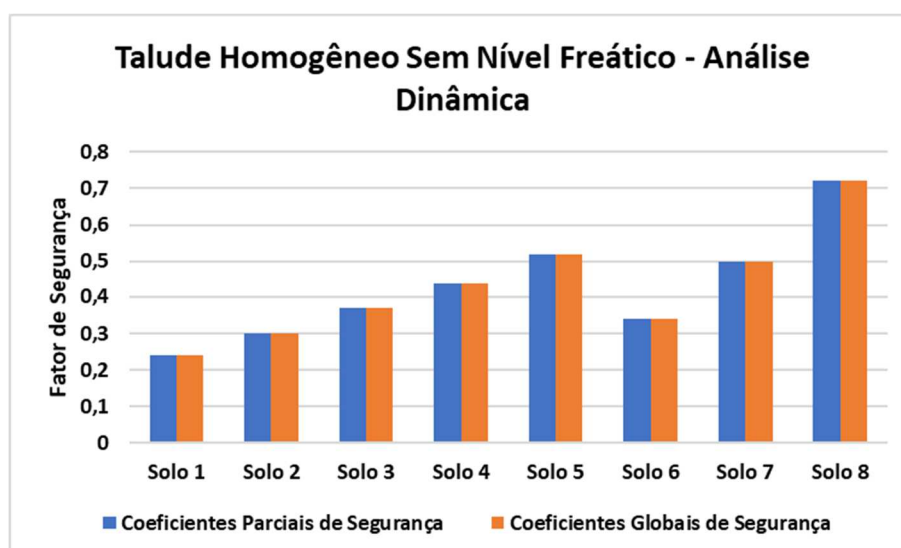


Figura 64- Comparativo de resultados talude homogêneo sem nível freático – Análise dinâmica. (Fonte: Autoral)

Isso mostra que para o estudo em questão a relação dos fatores de segurança entre os dois métodos foi de 1 para 1, não havendo variações significativas que remetem uma diferença entre ambos. Porém para entre as relações estáticas e dinâmicas a diferença foi aparente, como foi mostrado anteriormente.

No estudo com a influência do nível freático os resultados foram semelhantes, tendo em vista que o resultado encontrado entre a relação dos dois fatores não varia conforme as influências da água no talude (Figura 65).

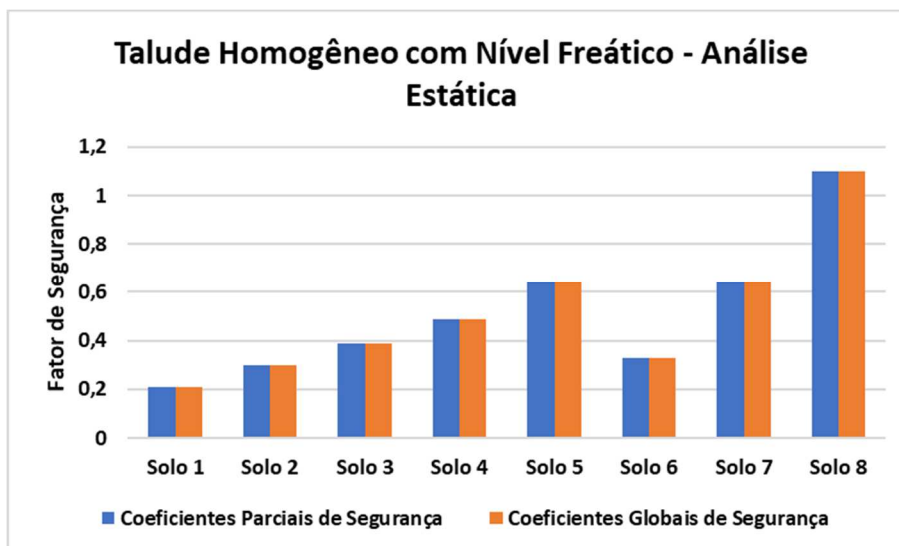


Figura 65- Comparativo de resultados talude homogêneo com nível freático – Análise estática. (Fonte: Autoral)

Assim como a verificação sem nível freático, os resultados para análise dinâmica apresentaram a mesma razão entre os fatores para coeficiente global de segurança e coeficiente parcial segundo o Eurocódigo 7, como mostra a Figura 66.

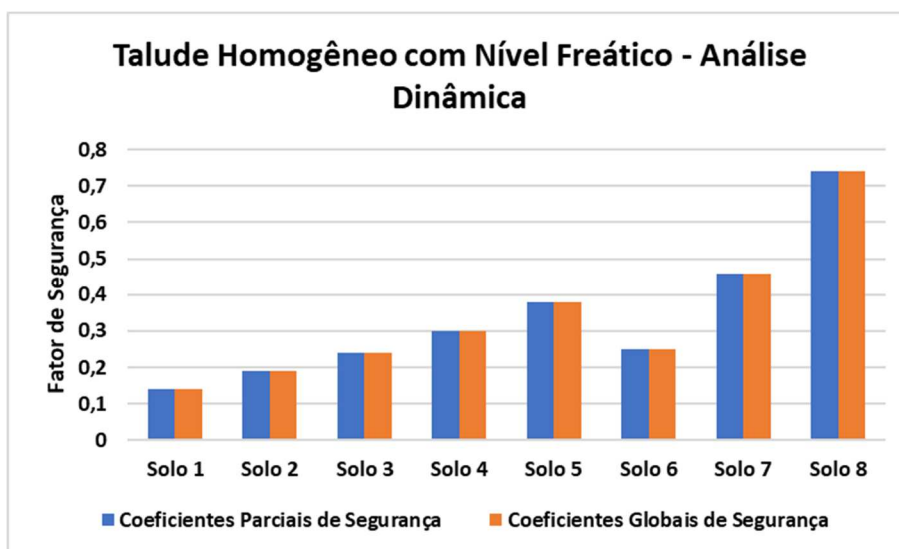


Figura 66- Comparativo de resultados talude homogêneo com nível freático – Análise dinâmica. (Fonte: Autoral)

Avaliando esses resultados conclui-se então que a razão entre os coeficientes é equivalente a 1 em todos os estudos de análise de estabilidade para as mesmas propriedades mecânicas e mesmas solicitações externas.

Nas comparações relativas à redução da altura, os valores foram satisfatórios e pôde-se perceber a relação dos valores diretamente nos resultados, como utilizou a referência de menor altura entre CGS e CPS, nota-se que os valores foram idênticos remetendo a ideia citada anteriormente.

Para as soluções ativas os resultados obtiveram uma diferença se comparados aos estudos anteriores, porém foi satisfatório para o estudo em questão, tendo valores até extraordinários para as definições de pregagem e ancoragem utilizadas.

Como mostrado anteriormente nas análises de pregagens e ancoragens, os valores do coeficiente global de segurança e coeficiente parcial de segurança segundo o Eurocódigo 7 foram diferentes, chegando a relações de até 1,9 entre ambas, como mostra a Tabela 31 e Tabela 32 a seguir:

Tabela 31 - Relações entre CPS/CGS para pregagens. (Fonte: Autoral)

<b>PREGAGEM</b>						
<b>Solo</b>	<b>Análise Estática</b>			<b>Análise Dinâmica</b>		
	<b>CPS</b>	<b>CGS</b>	<b>Relação CPS/CGS</b>	<b>CPS</b>	<b>CGS</b>	<b>Relação CPS/CGS</b>
1	1,5	1,18	1,271	0,7	0,55	1,273
2	1,52	1,24	1,226	0,71	0,57	1,246
3	1,62	1,35	1,200	0,75	0,62	1,210
4	1,74	1,48	1,176	0,8	0,68	1,176
5	1,85	1,62	1,142	0,86	0,75	1,147
6	1,92	1,53	1,255	0,9	0,71	1,268
7	2,1	1,76	1,193	0,98	0,82	1,195
8	2,47	2,17	1,138	1,15	1,01	1,139

Tabela 32 - Relações entre CPS/CGS para ancoragens. (Fonte: Autoral)

<b>ANCORAGEM</b>						
<b>Solo</b>	<b>Análise Estática</b>			<b>Análise Dinâmica</b>		
	<b>CPS</b>	<b>CGS</b>	<b>Relação CPS/CGS</b>	<b>CPS</b>	<b>CGS</b>	<b>Relação CPS/CGS</b>
1	2,26	1,36	1,662	1,22	0,72	1,694
2	2,02	1,42	1,423	1,06	0,73	1,452
3	2,02	1,49	1,356	1,05	0,76	1,382
4	2,05	1,56	1,314	1,05	0,79	1,329
5	2,06	1,61	1,280	1,04	0,8	1,300
6	3,71	1,96	1,893	2,21	1,16	1,905
7	3,43	2,37	1,447	1,9	1,3	1,462
8	3,66	2,94	1,245	1,95	1,56	1,250

Nota-se que para a solução de aplicação de pregagens em condições estáticas a relação entre os fatores de segurança tende a abaixar conforme é aumentado as características mecânicas do solo, como peso específico e ângulo de atrito, além de coesão é claro, que apresentou ser um fator importante na análise de estabilidade de taludes. Para os estudos aplicando condições sísmicas a relação entre os fatores foi quase idêntica aos resultados em análise estática.

Já para as ancoragens, os resultados apresentaram variações mais complexas se comparados às pregagens, as relações seguiram abaixando entre os solos 1 a 5, porém quando reduzido as características mecânicas do solo e aplicado coesão essas relações obtiveram valores muito grandes.

As Figuras 67 e 68 apresentam melhor a comparação entre os dois métodos:

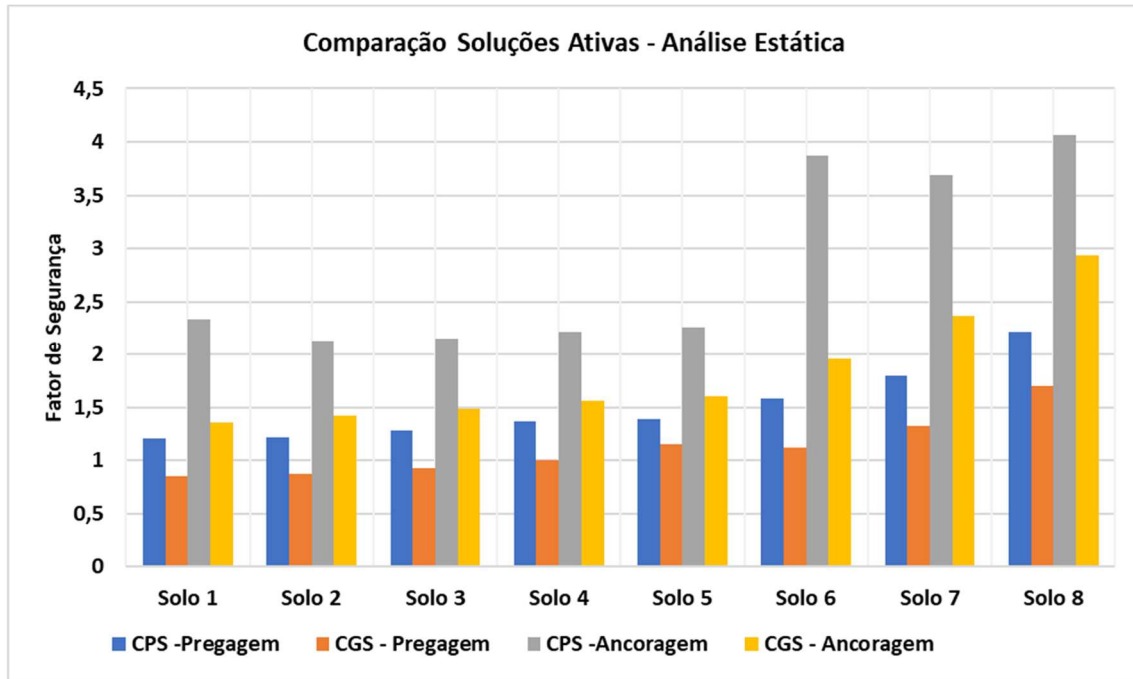


Figura 67 - Comparação de soluções ativas em análise estática. (Fonte: Autoral)

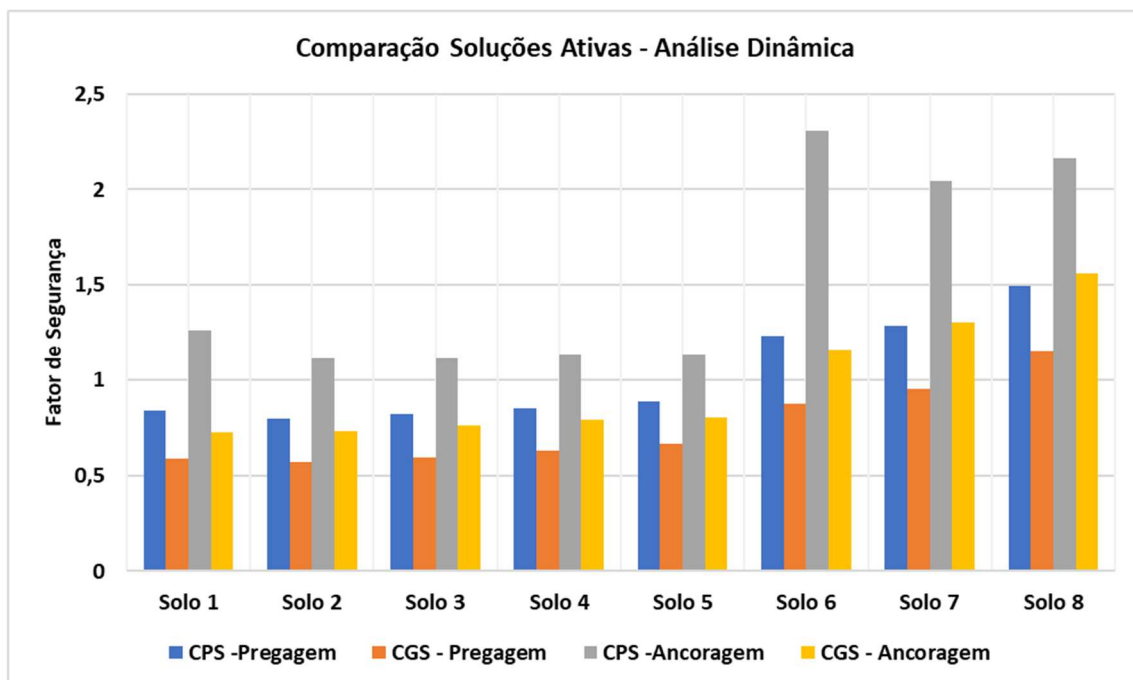


Figura 68 - Comparação de soluções ativas em análise estática. (Fonte: Autoral)

Por fim se comparadas entre si, as ancoragens obtiveram um resultado maior em todos os estudos, sendo necessário agora avaliar a relação custo-benefício entre ambas para verificar qual a melhor solução para se aplicar em um estudo em condições reais.

## 5 – CONCLUSÕES

### 5.1 – Conclusões finais

Concluído o presente trabalho, constata-se que os principais objetivos definidos inicialmente foram atingidos de forma satisfatória, o estudo abordado cumpriu todas as expectativas, sendo baseado no desenvolvimento de um programa para aplicação em taludes utilizando o método dos taludes infinitos.

Com o propósito supracitado, a revisão bibliográfica, o desenvolvimento do programa, a adequação dos métodos de cálculos para todas as condições de um talude infinito e o desenvolvimento de soluções passivas e ativas de estabilização, consideraram-se relevantes para o conhecimento científico nesta área.

A pesquisa bibliográfica permitiu desenvolver o conhecimento acerca da evolução geomorfológica dos taludes, dos tipos de taludes existentes e os métodos de cálculo, dos fatores de influência e principais causas na instabilização de taludes, além das soluções passivas existentes para sua estabilização.

O desenvolvimento do programa aprimorou os conhecimentos no método de cálculo utilizado, entendendo cada variável existente e os tipos de cálculo para cada condição de um talude infinito. Sendo feito também uma única formulação para cálculo de todas as condições possíveis, sendo aplicado de acordo com as variáveis existentes assim facilitando no momento da aplicação no programa desenvolvido.

No comparativo entre a análise pelos coeficientes globais de segurança com valor igual a 1,5 e coeficientes parciais de segurança definidos pelo Eurocódigo 7, concluiu-se que os resultados entre os dois coeficientes ocorrem de forma idêntica, sendo indiferente a influência de ações externas nos estudos de estabilidade sem aplicação das soluções de estabilização.

Para as soluções teve-se um resultado interessante, para a solução passiva (redução de altura) validou os resultados da relação CPS/CGS apresentando os resultados para menor altura entre ambos e seus respectivos resultados.

Em relação as soluções ativas, concluiu-se que para o estudo em questão as ancoragens obtiveram um resultado maior de tensões resistentes se comparado com as pregagens, necessitando verificar o melhor custo-benefício entre ambas para definir uma solução melhor, porém não é o que foi proposto pelo presente estudo.

Por fim, o programa desenvolvido apresentou resultados satisfatórios para o estudo realizado, podendo ser utilizado para fins acadêmicos ou desenvolver estudos futuros para aumentar o leque de possibilidades de aplicação.

## **5.2 – Desenvolvimentos Futuros**

O programa apresentado na presente dissertação, apesar de ser específico, pode ser desenvolvido uma extensão ou complementação. Apresenta-se alguns aspectos que podem ser desenvolvidos neste projeto e possíveis vias de investigação:

- Estudo e aplicação de novas soluções ativas ou passivas para o tipo de estudo efetuado, além de novos métodos de verificação;
- Aplicação de verificação de viabilidade econômica das soluções, incluindo processos construtivos e preços das diversas soluções existentes;
- Melhoria na codificação de soluções de estabilização ativas para definir parâmetros das soluções de forma automática;
- Desenvolvimento de relatórios mais completos para os taludes analisados além de banco de dados de estudos antigos e aplicação de comparações com esses estudos.

## BIBLIOGRAFIA

- BARELLA, C. F. (2016). *ABORDAGENS ESTATÍSTICAS APLICADAS AO MAPEAMENTO DE SUSCEPTIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA: ANÁLISE DE DIFERENTES TÉCNICAS NO CONTEXTO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO*. OURO PRETO: NÚCLEO DE GEOTECNIA DA ESCOLA DE MINAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO.
- Barradas, J. (2008). *PADRÕES DE COMPORTAMENTO DE TALUDES SUJEITOS A ACÇÕES CLIMÁTICAS: DOIS CASOS DE TALUDES DE ESCAVAÇÃO*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC, Lisboa.
- Candeias, J. (2009). *Aplicação das Abordagens de Cálculo do Eurocódigo 7 (EN1997-1)*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Cardoso, A. I., & Quintanilha de Menezes, J. E. (2006). *ESTUDO DA INTERACÇÃO MECÂNICA ENTRE REDES METÁLICAS PREGADAS E TALUDES ROCHOSOS*. Estradas de Portugal, E.P.E., Coimbra;FEUP, Porto.
- Costa, C. N. (2006). *Disciplina de Fundamentos de Geotecnia*. Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- Costa, P. C. (2006/2007). *DISCIPLINA DE FUNDAMENTOS DE GEOTECNIA*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa.
- Dalberto, D., Lopes, F., & Lima, R. (2013). *Escorregamento de Taludes em Meio Urbano*. Universidade Anhembi.
- Fernandes, M. d. (2011). *Mecânica dos Solos, Introdução à Engenharia Geotécnica, Volume 1 e 2*. Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto.
- Garcia, S. Z. (2018). *Comparativo Entre Dois Métodos de Taludes Infinitos na Geração de Mapas de Suscetibilidade a Deslizamentos Translacionais*. Universidade Federal de Santa Catarina.
- Humberto Laranjeira de Souza Filho, R. R. (2014). *A BIOENGENHARIA NA ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES E ENCOSTAS NATURAIS*. Salvador-BA, Brasil: XIII SEPA.
- Leal Gomes, J. A., & Quinta-Ferreira, M. (2010). *NOTA SOBRE FACTORES CONDICIONANTES DA ESTABILIDADE DE TALUDES EM ALGUMAS REGIÕES DE PORTUGAL*. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila real;Universidade de Coimbra, Coimbra.

- Martins, F. F., & Miranda, T. F. (2012). *AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DE TALUDES. DESEMPENHO DAS REDES NEURONAIIS VERSUS MÁQUINAS DE VETORES DE SUPORTE*. Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Guimarães.
- Martins, F. F., Araújo, A. S., & Marques, R. F. (2008). *ANÁLISE DA ESTABILIDADE E OPTIMIZAÇÃO DA GEOMETRIA DE TALUDES RECORRENDO A TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL*. Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Guimarães.
- Martins, R., Nogueira, N., & Carvalho, A. T. (2012). *ESTABILIZAÇÃO DE UM TALUDE NO CONCELHO DE VILA FRANCA DE XIRA*. Geotest, Lda., Lisboa, Portugal.
- Menezes, A. C., & Rangel, L. V. (2016). *ESTABILIZAÇÃO DE TALUDE COM A TÉCNICA DE SOLO GRAMPEADO: INFLUÊNCIA DA INCLINAÇÃO DOS GRAMPOS*. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil.
- Pelizoni, A., & Pereira, F. (2018). *PROTEÇÃO E ESTABILIZAÇÃO DE ENCOSTA COM CONJUNTO DE SOLUÇÕES E ESTRUTURAS PASSIVAS EM PEDRO DO RIO, RIO DE JANEIRO, BRASIL*. Maccaferri do Brasil, Rio de Janeiro, Brasil.
- Popescu, M. (1994). A suggested method for reporting landslide causes. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 50, p.71-74.
- RAMIREZ, R. G. (2016). *ANÁLISE DE CONFIABILIDADE EM ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO*. MARINGÁ: UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ CENTRO DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL.
- Salgado, F. (2012). *REAVALIAÇÃO DO MÉTODO PSEUDO-ESTÁTICO NA AFERIÇÃO DA ESTABILIDADE DE TALUDES*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Silva, J. P., & Couto Marques, J. (2012). *OS MÉTODOS DE EQUILÍBRIO LIMITE E DOS ELEMENTOS FINITOS NA ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDES*. Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Porto.
- Silva, P. V., & Alves, M. C. (2012). *CARACTERÍSTICAS DE DOIS TIPOS DE SOLO USADOS NA CAMADA DE COBERTURA NO ATERRO NO MORRO DO CÉU EM NITERÓI, BRASIL*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.
- Stumpf, T. R., & Freitas Neto, O. (2012). *ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE UM TALUDE EM ÁREA DE RISCO DA CIDADE DE ARACAJU-SE*. Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, Brasil.
- Varnes, D.J. & IAEG Commission on Landslides and other Mass-Movements. (1984). *Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice*. Paris, France: United Nations Educational.

- Verde, J., Cardoso, R., & Barradas, J. (2010). *PREVISÃO DO COMPORTAMENTO DE UM TALUDE REAL BASEADA EM MODELAÇÃO NUMÉRICA*. Instituto Superior Técnico, Lisboa; Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Vieira, C. S., Caldeira, L. M., & Lopes, M. d. (2006). *COMPORTAMENTO SÍSMICO DE UM TALUDE REFORÇADO COM GEOSSINTÉTICOS. UM ESTUDO PARAMÉTRICO*. FEUP, LNEC.

## **ANEXOS**

## **ANEXO I – MANUAL DO PROGRAMA**

# **MANUAL DO UTILIZADOR**

## **PROGRAMA DE CÁLCULO DE ESTABILIDADE DE TALUDES**

V.0

**DIREITOS RESERVADOS AO INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
ESCOLA DE TECNOLOGIA E GESTÃO  
BRAGANÇA 2022**

## **ÍNDICE**

1 – ABERTURA E ESTRUTURA DA APLICAÇÃO

2 – INTRODUÇÃO DE DADOS

2.1 - Inserção de Dados nas Camadas

2.2 – Alteração de dados das camadas

2.3 – Exclusão de Camada

2.4 – Inclinação do Talude

2.6 – Análise Estática ou Dinâmica

2.7 – Adicionar ou Remover Nível Freático

2.8 – Calcular

3 – AVALIAÇÃO DE DADOS

4 – SOLUÇÕES DE ESTABILIDADE

4.1 – Redução de Altura

4.2 – Aplicação de Pregagem

4.3 – Aplicação de Ancoragem

## 1 – ABERTURA E ESTRUTURA DA APLICAÇÃO

Para utilização do programa de cálculo, primeiro deve-se abrir o arquivo xlsb. Abrindo-o, será apresentada a seguinte página inicial:

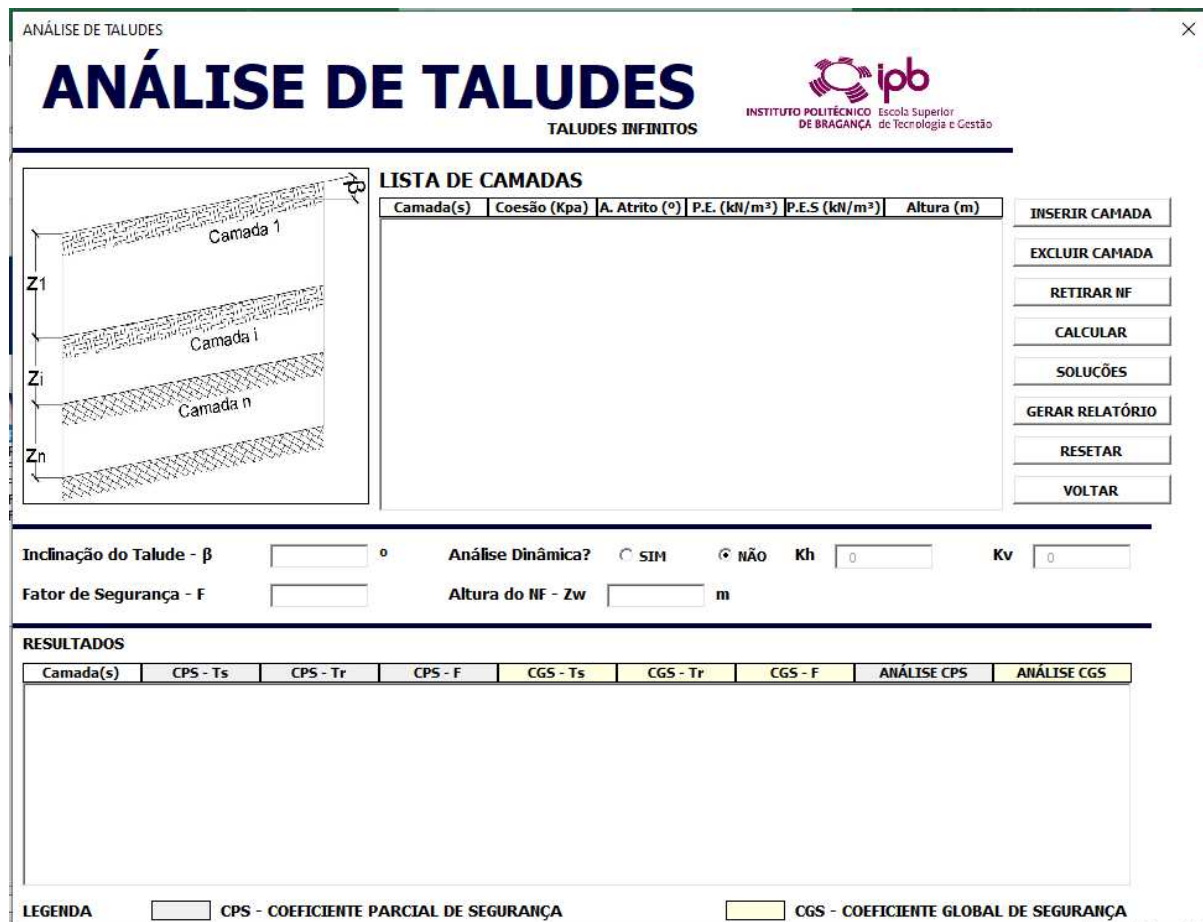


No quadro apresenta os tipos de análises que são feitas, lembrando que o método de cálculo utilizado é o método dos taludes infinitos, sendo assim, a aplicabilidade do programa de cálculo se dá apenas para taludes infinitos.

Para iniciar o programa, basta clicar no botão “INICIAR” disposto no layout mostrado anteriormente que será apresentado o seguinte formulário:

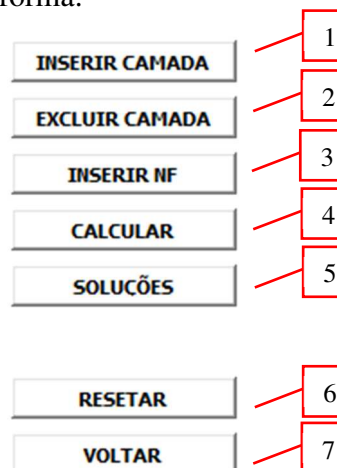
Como um talude pode ser composto apenas por uma camada (homogêneo) ou várias camadas (heterogêneo), há uma caixa de texto para colocar o número de camadas que compõe o talude que deseja analisar, lembrando que essa quantidade pode ser alterada posteriormente.

Definindo a quantidade de camadas clique no botão “AVANÇAR” para ser direcionado para página de análise do talude, conforme mostra a imagem a seguir:



A formulário desenvolvido se adapta à todos tipos de análise, seja ela estática ou dinâmica, com ou sem nível freático e com uma ou várias camadas, sendo possível alterar de acordo com talude que será estudado.

Para utilização do programa, deve-se possuir alguns dados do solo, como peso específico e coesão, além de peso específico saturado para casos que haja lençol freático. A estruturação do menu do programa se dá da seguinte forma:



**Item 1** – INSERIR CAMADA – Nesse item é inserido uma nova camada, onde é redirecionado para uma nova janela para preenchimento dos dados dessa camada;

**Item 2** – EXCLUIR CAMADA – Nesse item é excluído a camada que está selecionada na caixa de listagem;

**Item 3** – RETIRAR (INSERIR) NF – Nesse item é inserido ou retirado o nível freático, o nome do botão altera de acordo com o que já foi preenchido;

**Item 4** – CALCULAR – Nesse item é calculado a estabilidade do talude de acordo com o que foi preenchido e é apresentado os resultados do fator de segurança;

**Item 5** – SOLUÇÕES – Nesse item é aberto uma nova janela para analisar as soluções para o talude estudado, para aceder deve-se ter já calculado o talude e ele apresentar instabilidade;

**Item 6** – RESETAR – Ao clicar nesse item é resetado tudo que foi preenchido;

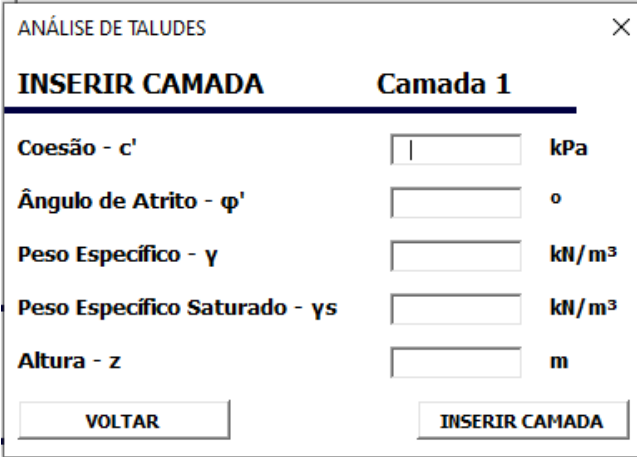
**Item 7** – VOLTAR – Ao clicar retorna à janela anterior.

## 2 – INTRODUÇÃO DE DADOS

Para utilização do programa, deve-se possuir todos dados do solo em estudo, como peso específico e coesão, além de peso específico saturado para casos que haja lençol freático.

### 2.1 - Inserção de Dados nas Camadas

Para iniciar a análise de estabilização primeiro deve-se inserir camadas de acordo com o talude que será estudado. Após clicar em “INSERIR CAMADA” será apresentado um novo formulário para preenchimento das informações da camada que será adicionada, conforme mostra figura abaixo:



The image shows a software window titled "ANÁLISE DE TALUDES" with a close button (X) in the top right corner. The window is divided into two main sections: "INSERIR CAMADA" on the left and "Camada 1" on the right. Below the "INSERIR CAMADA" section, there are five rows of input fields, each with a label and a unit: "Coesão - c'" with a unit of "kPa", "Ângulo de Atrito - φ'" with a unit of "°", "Peso Específico - γ" with a unit of "kN/m³", "Peso Específico Saturado - γs" with a unit of "kN/m³", and "Altura - z" with a unit of "m". At the bottom of the window, there are two buttons: "VOLTAR" on the left and "INSERIR CAMADA" on the right.

Na janela de inserção de camada é preenchido os dados da camada de solo que será adicionada, considera-se que esses dados já tenham sido retirados de estudos geotécnicos. Após o preenchimento deve-se clicar em “INSERIR CAMADA” para confirmar a inserção, ou “VOLTAR” para retornar à janela anterior, os dados inseridos serão dispostos em uma lista na janela anterior e poderão ser alterados posteriormente.

### 2.2 – Alteração de dados das camadas

A alteração de dados de camadas já preenchidas pode ser feita de forma bem simples, basta clicar duas vezes em cima da linha na caixa de listagem de camadas. Será aberto uma nova janela com os dados atuais, altere e clique em “ALTERAR CAMADA”.

## LISTA DE CAMADAS

Camada(s)	Coesão (Kpa)	A. Atrito (°)	P.E. (kN/m <sup>3</sup> )	P.E.S (kN/m <sup>3</sup> )	Altura (m)
Camada 1	20	25	20	22	5

ANÁLISE DE TALUDES

**ALTERAR CAMADA**      **Camada 1**

Coesão -  $c'$             kPa

Ângulo de Atrito -  $\phi'$             °

Peso Específico -  $\gamma$             kN/m<sup>3</sup>

Peso Específico Saturado -  $\gamma_s$             kN/m<sup>3</sup>

Altura -  $z$             m

Após clicar, será aberto uma janela de confirmação para confirmar a alteração.

ANÁLISE DE TALUDES

Tem certeza que deseja adicionar nova camada?

Clicando em sim pareça que a camada foi alterada com sucesso.

ANÁLISE DE TALUDE

Camada alterada com sucesso!

### 2.3 – Exclusão de Camada

O item 2 do menu apresentado anteriormente foi criado para exclusão de camadas, para isso deve-se selecionar a camada na lista e pressionar “EXCLUIR CAMADA”, após isso será emitido um alerta e uma mensagem de confirmação, caso confirmado a camada selecionada na listagem será excluída e as camadas serão reordenadas.

## 2.4 – Inclinação do Talude

A inclinação do talude deve ser preenchida na caixa de texto com referência “Inclinação do Talude –  $\beta$ ”, ela deve ser preenchida no formato de graus e utilizar vírgula para casas decimais.

**Inclinação do Talude -  $\beta$**   °

## 2.5 – Fator de Segurança

O valor do fator de segurança no programa de cálculo é preenchido na caixa de texto com referência “Fator de Segurança – F”.

**Fator de Segurança - F**

O valor preenchido serve como base para o tipo de cálculo que será realizado:

- Fator de Segurança = 1 – Será realizado uma análise mais realista, tendo o fator de segurança real no final do cálculo e podendo assim analisar o talude sem coeficiente global de segurança.
- Fator de Segurança  $\neq$  1 – Será realizado uma análise aplicando coeficiente global de segurança.

## 2.6 – Análise Estática ou Dinâmica

Agora deve-se atentar ao tipo de talude que será estudado, para análise dinâmica, ou seja, caso haja influência de sismos, deve-se alterar o item de “ANÁLISE DINÂMICA”, para “SIM”, caso seja uma análise estática manter o “NÃO” selecionado:

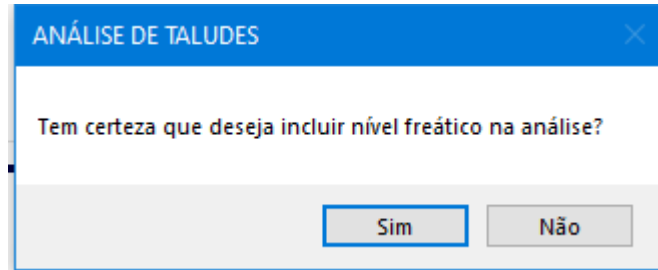
**Análise Dinâmica?**  SIM  NÃO

Caso a análise seja dinâmica duas caixas de textos serão desbloqueadas para preenchimento com a referência “Kh” e “Kv” que representam o coeficiente sísmico horizontal e vertical respectivamente.

**Kh**  0 **Kv**  0

## 2.7 – Adicionar ou Remover Nível Freático

Para adicionar o nível freático basta clicar no botão “INSERIR NF”, será apresentado uma caixa de confirmação:



Clicando em “Sim” será liberado uma nova caixa de texto para preenchimento do nível freático. Lembrando que o preenchimento com casas decimais deve ser utilizado vírgula como separação.

**Altura do NF - Zw**  m

Para retirar o nível freático basta clicar no mesmo botão, o programa reconhece caso já tenha sido inserido o nível e será apresentado uma caixa de confirmação.

## 2.8 – Calcular

Após preenchimento de todos dados referente ao talude que será estudado, clique no botão “CALCULAR” que será apresentado os resultados de acordo com o que foi preenchido.

### 3 – AVALIAÇÃO DE DADOS

Após preenchimento de todos dados e clicado em “Calcular” será apresentado os resultados na caixa de listagem na parte inferior do formulário. O programa de cálculo apresenta o resultado por camada, sendo possível analisar os resultados de forma individual e com mais facilidade de encontrar em qual camada há instabilização quando é utilizado para taludes heterogêneos.

RESULTADOS								
Camada(s)	CPS - Ts	CPS - Tr	CPS - F	CGS - Ts	CGS - Tr	CGS - F	ANÁLISE CPS	ANÁLISE CGS
Camada 1	43,30127	37,83821	0,87384	43,30127	47,29777	1,0923	-	OK

LEGENDA  CPS - COEFICIENTE PARCIAL DE SEGURANÇA  CGS - COEFICIENTE GLOBAL DE SEGURANÇA

A caixa de listagem possui 9 itens que servem para análise de dados, sendo avaliado as solicitações e resistência das massas de terra pelo coeficiente parcial de segurança definido pelo Eurocódigo 7 e pelo coeficiente global de segurança, definido pelo próprio usuário.

LEGENDA	
<b>CPS – Ts</b>	Tensão solicitante utilizando coeficiente parcial de segurança
<b>CPS - Tr</b>	Tensão resistente utilizando coeficiente parcial de segurança
<b>CPS - F</b>	Fator de segurança utilizando coeficiente parcial de segurança
<b>CGS – Ts</b>	Tensão solicitante utilizando coeficiente global de segurança
<b>CGS - Tr</b>	Tensão resistente utilizando coeficiente global de segurança
<b>CGS - F</b>	Fator de segurança utilizando coeficiente global de segurança

A análise também é realizado pelos dois tipos de coeficiente, sendo analisado cada camada, caso o coeficiente global/parcial satisfaça o que foi pretendido, retornada o valor de “OK” na respectiva camada, caso não satisfaça será retornado o valor de “-“. Conforme exemplo.

ANÁLISE CPS	ANÁLISE CGS
-	OK

As análises de taludes heterogêneos seguem o mesmo processo, porém deve se atentar no local que ocorre a ruptura do solo, conforme o exemplo a seguir:

**RESULTADOS**

Camada(s)	CPS - Ts	CPS - Tr	CPS - F	CGS - Ts	CGS - Tr	CGS - F	ANÁLISE CPS	ANÁLISE CGS
Camada 1	46,98463	37,68845	0,80214	46,98463	47,11057	1,00268	-	OK
Camada 2	63,8991	45,4963	0,712	63,8991	56,87037	0,89	-	-
Camada 3	162,56682	127,23449	0,78266	162,56682	159,04311	0,97832	-	-

Conforme visto, a análise apenas foi favorável para a análise utilizando coeficiente global de segurança na camada 1, ou seja, a ruptura ocorreu entre a camada 1 e 2. Já na avaliação utilizando coeficientes parciais de segurança definidos pelo Eurocódigo 7, a ruptura já ocorreu em algum ponto na primeira camada, sendo necessária aplicar soluções de estabilização.

Para realizar uma nova análise, basta alterar qualquer dado já preenchido, que o programa de cálculo irá resetar a caixa de listagem de resultados para uma nova avaliação. Caso o talude não atenda as expectativas e venha a ceder, ou seja, obtenha um fator de segurança reduzido, poderá ser realizado possíveis soluções de estabilização para o problema e questão.

Para acessar as soluções de estabilização basta clicar no botão “SOLUÇÕES”, que se encontra no menu.

## 4 – SOLUÇÕES DE ESTABILIDADE

Após analisar o talude e decidir que será necessário a realização de alguma solução de estabilização, basta acessar a aba de soluções e terá três opções de estabilização que o programa disponibiliza para movimentos de massa translacionais.

Ao clicar no botão “SOLUÇÕES” no formulário anterior, será aberto uma nova janela com os dados preenchidos do estudo em análise, com o seguinte layout:

Camada(s)	Coesão (Kpa)	A. Atrito (°)	P.E. (kN/m³)	P.E.S (kN/m³)	Altura (m)
Camada 1	20	20	20	22	2
Camada 2	20	22	24	25	3

Camada(s)	CPS - Ts	CPS - Tr	CPS - F	CGS - Ts	CGS - Tr	CGS - F	ANÁLISE CPS	ANÁLISE CGS
-----------	----------	----------	---------	----------	----------	---------	-------------	-------------

Lembrando que após entrar nessa janela não é possível alterar as camadas que foram preenchidas mais.

Para acessar as soluções disponibilizadas basta clicar na lista com a referência “Selecione o tipo de solução a ser adotada:”, será apresentado as soluções existentes para a presente aplicação, selecione e clique em “APLICAR”.

Selecione o tipo de solução a ser adotada:

#### 4.1 – Redução de Altura

Para aplicar redução de altura como solução de estabilidade, basta apenas selecionar a mesma na listagem de soluções, clicar em “APLICAR” e depois clicar em “CALCULAR”.

Selecione o tipo de solução a ser adotada:

Essa solução é diferente das demais pois ela possui algumas restrições e definições. A aplicabilidade se restringe a solos que não são puramente friccionais, solos com essas características a redução de altura não tem relevância. Também se considera que já houve drenagem da água no talude, ou seja, não há influência de lençol freático.

Ao calcular, será alterado as condições definidas anteriormente para o talude, será atualizado na listagem as novas características do talude (sendo alterado apenas a altura ou retirado alguma camada em taludes heterogêneos).

### SOLUÇÕES DE ESTABILIDADE

Camada(s)	Coesão (Kpa)	A. Atrito (°)	P.E. (kN/m <sup>3</sup> )	P.E.S (kN/m <sup>3</sup> )	Altura (m)

E novamente é feito o cálculo e apresentado, com todos as condições sendo favoráveis tanto para estudo utilizando coeficientes globais de segurança quanto para coeficientes parciais de segurança de acordo com eurocódigo 7.

### SOLUÇÕES

Camada(s)	CPS - Ts	CPS - Tr	CPS - F	CGS - Ts	CGS - Tr	CGS - F	ANÁLISE CPS	ANÁLISE CGS

## 4.2 – Aplicação de Pregagem

Ao selecionar o pregagens como método de solução de estabilização, será aberto uma nova janela para inserção dos valores de Resistência ao Corte da Pregagem e Distância de pregagem, devendo ser preenchido com os valores em kN e metros respectivamente.

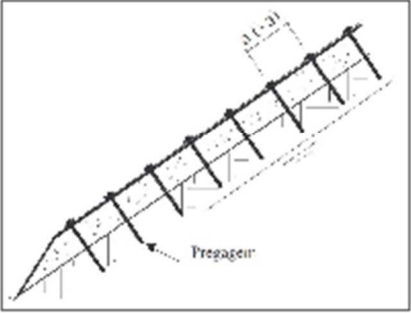
ANÁLISE DE TALUDES

### Parâmetros para Aplicação de Pregagem

Tensão de Pregagem  KN

Distância de Aplicação  m

**APLICAR** **CANCELAR**



Após inserir os dados, clique em “APLICAR”, e será retornado para janela de soluções de estabilização. Os valores digitados aparecerão em uma caixa de listagem para verificação antes do cálculo.

Selecione o tipo de solução a ser adotada:

Aplicação de Pregagem

Aplicação de Pregagem	
Força de Aplicação (kN)	50
Distância de Aplicação (m)	2,5

**CALCULAR**

Conferindo os valores, clique no botão “CALCULAR” para gerar os resultados com as pregagens para coeficientes globais e parciais de segurança.

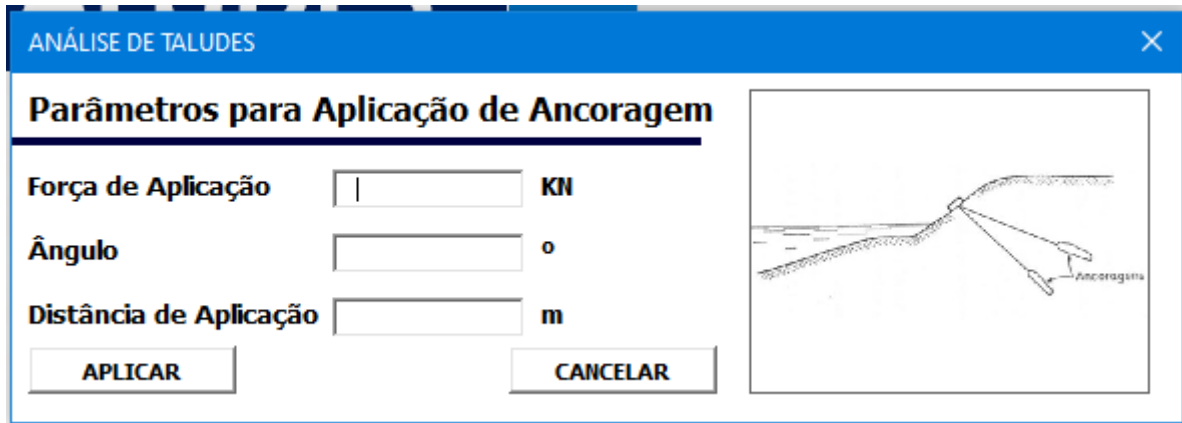
### SOLUÇÕES

Camada(s)	CPS - Ts	CPS - Tr	CPS - F	CGS - Ts	CGS - Tr	CGS - F	ANÁLISE CPS	ANÁLISE CGS

Os resultados gerados seguem o padrão da avaliação de estabilidade, sendo avaliado cada camada e tendo valores dos coeficientes de segurança para todas.

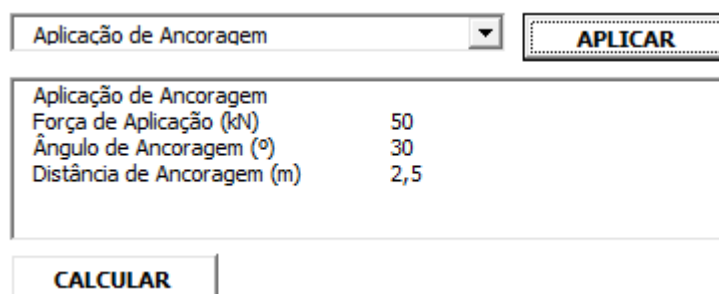
### 4.3 – Aplicação de Ancoragem

Ao selecionar o pregagens como método de solução de estabilização, assim como as pregagens, será aberto uma nova janela para inserção dos valores de Força Axial da Ancoragem, Distância de Ancoragem e Ângulo de Aplicação, devendo ser preenchido com os valores em kN, metros e graus respectivamente.



The screenshot shows a software window titled "ANÁLISE DE TALUDES" with a sub-window titled "Parâmetros para Aplicação de Ancoragem". It contains three input fields: "Força de Aplicação" (kN), "Ângulo" (°), and "Distância de Aplicação" (m). There are "APLICAR" and "CANCELAR" buttons. To the right is a diagram of a slope with an anchor.

Após inserir os dados, clique em “APLICAR”, e será retornado para janela de soluções de estabilização. Os valores digitados aparecerão em uma caixa de listagem para verificação antes do cálculo.



The screenshot shows a software interface with a list of applied anchor parameters. The list includes: "Aplicação de Ancoragem", "Força de Aplicação (kN) 50", "Ângulo de Ancoragem (°) 30", and "Distância de Ancoragem (m) 2,5". There are "APLICAR" and "CALCULAR" buttons.

Conferindo os valores, clique no botão “CALCULAR” para gerar os resultados com as pregagens para coeficientes globais e parciais de segurança.

### SOLUÇÕES

Camada(s)	CPS - Ts	CPS - Tr	CPS - F	CGS - Ts	CGS - Tr	CGS - F	ANÁLISE CPS	ANÁLISE CGS

Conforme já citado, os resultados gerados seguem o padrão da avaliação de estabilidade, sendo avaliado cada camada e tendo valores dos coeficientes de segurança para todas.

## ANEXO II – CODIFICAÇÃO UTILIZADA PARA VERIFICAÇÃO DE ESTABILIDADE

```
Private Sub CommandButton3_Click()  
'CÁLCULO  
  
    Dim erro, x As Integer  
    Dim tb As Integer  
    Dim c, aa, pe, pes, h, hz, a, f, kv, kh, W, Ws, J, Ja, Wa,  
Was, Wac, Wsa, zw, ht, htt As Double  
    Dim cps1, cps2, cps3, cps4 'CPS RESPECTIVOS tgo' c' Cu qu  
    Dim PI As Double  
    Dim CGS, CPS As String  
    Dim httotal As Double  
    Dim nfe As Boolean  
  
    PI = Application.WorksheetFunction.PI()  
  
    cps1 = Sheets("FORMULAÇÃO").Range("D" & 2).Value 'tgo'  
    cps2 = Sheets("FORMULAÇÃO").Range("D" & 3).Value 'c'  
    cps3 = Sheets("FORMULAÇÃO").Range("D" & 4).Value 'Cu  
    cps4 = Sheets("FORMULAÇÃO").Range("D" & 5).Value 'qu  
  
    erro = 0  
  
    'CONDIÇÕES DE PREENCHIMENTO E VERIFICAÇÃO SE É NÚMERO  
    For tb = 1 To 4  
        If Controls("Textbox" & tb).Value = "" Or  
IsNumeric(Controls("Textbox" & tb)) = False Then erro = erro +  
1  
    Next tb  
  
    'CONDIÇÃO QUANTIDADE DE CAMADAS >0  
    If ListBox1.ListCount <= 0 Then erro = erro + 1  
  
    'CONDIÇÃO PREENCHIMENTO ANÁLISE DINÂMICA  
    If OptionButton1.Value = False And OptionButton2.Value =  
False Then erro = erro + 1  
  
    'CONDIÇÃO PESO ESPECIFICO E ALTURA 0  
    If ListBox1.ListCount > 0 Then  
        For x = 0 To ListBox1.ListCount - 1  
            If ListBox1.List(x, 3) = 0 Or ListBox1.List(x, 4) =  
0 Or ListBox1.List(x, 5) = 0 Then erro = erro + 1  
        Next x  
    End If  
  
    If erro = 0 Then  
  
        'ALTURA TOTAL
```

```

htotal = 0
For x = 0 To ListBox1.ListCount - 1
    htotal = htotal + ListBox1.List(x, 5)
Next x

If TextBox5.Value <> "" Then 'VERIFICA SE HÁ NF
    hz = TextBox5.Value
Else
    hz = htotal
End If

If htotal >= hz Then

    ListBox2.Clear
    Wac = 0 'W ACUMULADO
    Wsa = 0 'W SATURADO ACUMULADO
    ht = 0 'ALTURA ACUMULADA
    Ja = 0 'PERCOLAÇÃO ACUMULADA
    nfe = False 'NIVEL FREATICO ENCONTRADO
    a = TextBox1.Value 'INCLINAÇÃO DO TALUDE
    f = TextBox2.Value 'FATOR DE SEGURANÇA GLOBAL
    kh = TextBox3.Value 'FATOR SISMICO HORIZONTAL
    kv = TextBox4.Value 'FATOR SISMICO VERTICAL

    For x = 0 To ListBox1.ListCount - 1

        If x < ListBox1.ListCount - 1 Then

            'RECEBIMENTO DAS VARIÁVEIS
            c = WorksheetFunction.Min(ListBox1.List(x, 1),
ListBox1.List(x + 1, 1)) 'COESAO
            aa = WorksheetFunction.Min(ListBox1.List(x, 2),
ListBox1.List(x + 1, 2)) 'ANGULO DE ATRITO
            pe = ListBox1.List(x, 3) 'PESO ESPECÍFICO
            pes = ListBox1.List(x, 4) 'PESO ESPECIFICO
SATURADO
            h = ListBox1.List(x, 5) 'ALTURA

            ListBox2.AddItem
            ListBox2.List(x, 0) = "Camada " & x + 1
'NUMERAÇÃO DA CAMADA

            If nfe = False Then 'VERIFICA SE NIVEL FREATICO
NÃO FOI ENCONTRADO
                htt = ht + h
                If htt > hz Then 'NIVEL FREATICO ENCONTRADO
                    nfe = True
                    W = pe * hz * Cos((a * PI / 180)) 'W
                    Wac = Wac + W 'W ACUMULADO
                    Ws = (pes - 9.81) * ((ht + h) - hz) *
Cos((a * PI / 180)) 'W SATURADO

```

```

        Wsa = Wsa + Ws 'W SATURADO ACUMULADO
        J = Sin((a * PI / 180)) * 9.81 * ((ht +
h) - hz) * Cos((a * PI / 180)) 'PERCOLAÇÃO
        Ja = Ja + J 'PERCOLAÇÃO ACUMULADA
        ht = ht + h 'SOMATÓRIO DAS ALTURAS
    Else 'NIVEL FREATICO NÃO ENCONTRADO AINDA
        W = pe * h * Cos((a * PI / 180))
        Wac = Wac + W 'SOMATÓRIO DOS W
        ht = ht + h 'SOMATÓRIO DAS ALTURAS
    End If
Else
    Ws = (pes - 9.81) * h * Cos((a * PI / 180))
'W SATURADO
    Wsa = Wsa + Ws 'W SATURADO ACUMULADO
    J = Sin((a * PI / 180)) * 9.81 * h * Cos((a
* PI / 180)) 'PERCOLAÇÃO
    Ja = Ja + J 'PERCOLAÇÃO ACUMULADA
    ht = ht + h 'SOMATÓRIO DAS ALTURAS
End If

'CGS

    ListBox2.List(x, 4) = Round(Wac * Sin((a * PI /
180)) + Wac * kv * Sin((a * PI / 180)) + Wac * kh * Cos((a * PI
/ 180)) + Wsa * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Sin((a * PI /
180)) + Wsa * kh * Cos((a * PI / 180)) + Ja, 5) 'SOLICITANTE
    ListBox2.List(x, 5) = Round(c + (Wac * Cos((a *
PI / 180)) + Wac * kv * Cos((a * PI / 180)) - Wac * kh * Sin((a
* PI / 180)) + Wsa * Cos((a * PI / 180)) - Wsa * kh * Sin((a *
PI / 180)) + Wsa * kv * Cos((a * PI / 180))) * Tan((aa * PI /
180)), 5) 'RESISTENTE

    ListBox2.List(x, 6) = Round((ListBox2.List(x,
5) / f) / ListBox2.List(x, 4), 5) 'FATOR DE SEGURANÇA

    If    ListBox2.List(x,    6)    >=    1    Then
ListBox2.List(x, 8) = "OK" Else ListBox2.List(x, 8) = "-"
'ANÁLISE CGS

'CPS

    ListBox2.List(x, 1) = Round(Wac * Sin((a * PI /
180)) + Wac * kv * Sin((a * PI / 180)) + Wac * kh * Cos((a * PI
/ 180)) + Wsa * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Sin((a * PI /
180)) + Wsa * kh * Cos((a * PI / 180)) + Ja, 5) 'SOLICITANTE
    ListBox2.List(x, 2) = Round((c / cps2) + (Wac *
Cos((a * PI / 180)) + Wac * kv * Cos((a * PI / 180)) - Wac * kh
* Sin((a * PI / 180)) + Wsa * Cos((a * PI / 180)) - Wsa * kh *
Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Cos((a * PI / 180))) * (Tan((aa
* PI / 180)) / cps1), 5) 'RESISTENTE

```

```

        ListBox2.List(x, 3) = Round(ListBox2.List(x, 2)
/ ListBox2.List(x, 1), 5) 'FATOR DE SEGURANÇA

        If ListBox2.List(x, 3) >= 1 Then
ListBox2.List(x, 7) = "OK" Else ListBox2.List(x, 7) = "-"
'ANÁLISE CPS

        Else
        c = ListBox1.List(x, 1) 'COESAO
        aa = ListBox1.List(x, 2) 'ANGULO DE ATRITO
        pe = ListBox1.List(x, 3) 'PESO ESPECÍFICO
        pes = ListBox1.List(x, 4) 'PESO ESPECIFICO
SATURADO
        h = ListBox1.List(x, 5) 'ALTURA

        ListBox2.AddItem
        ListBox2.List(x, 0) = "Camada " & x + 1
'NUMERAÇÃO DA CAMADA
        If nfe = False Then 'VERIFICA SE NIVEL FREATICO
NÃO FOI ENCONTRADO
                htt = ht + h
                If htt > hz Then 'NIVEL FREATICO ENCONTRADO
                        nfe = True
                        W = pe * hz * Cos((a * PI / 180)) 'W
                        Wac = Wac + W 'W ACUMULADO
                        Ws = (pes - 9.81) * ((ht + h) - hz) *
Cos((a * PI / 180)) 'W SATURADO
                        Wsa = Wsa + Ws 'W SATURADO ACUMULADO
                        J = Sin((a * PI / 180)) * 9.81 * ((ht +
h) - hz) * Cos((a * PI / 180)) 'PERCOLAÇÃO
                        Ja = Ja + J 'PERCOLAÇÃO ACUMULADA
                        ht = ht + h 'SOMATÓRIO DAS ALTURAS
                Else 'NIVEL FREATICO NÃO ENCONTRADO AINDA
                        W = pe * h * Cos((a * PI / 180))
                        Wac = Wac + W 'SOMATÓRIO DOS W
                        ht = ht + h 'SOMATÓRIO DAS ALTURAS
                End If
        Else
                Ws = (pes - 9.81) * h * Cos((a * PI / 180))
'W SATURADO
                Wsa = Wsa + Ws 'W SATURADO ACUMULADO
                J = Sin((a * PI / 180)) * 9.81 * h * Cos((a
* PI / 180)) 'PERCOLAÇÃO
                Ja = Ja + J 'PERCOLAÇÃO ACUMULADA
                ht = ht + h 'SOMATÓRIO DAS ALTURAS
        End If

        'CGS

        ListBox2.List(x, 4) = Round(Wac * Sin((a * PI /
180)) + Wac * kv * Sin((a * PI / 180)) + Wac * kh * Cos((a * PI

```

```

/ 180)) + Wsa * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Sin((a * PI /
180)) + Wsa * kh * Cos((a * PI / 180)) + Ja, 5) 'SOLICITANTE
    ListBox2.List(x, 5) = Round(c + (Wac * Cos((a *
PI / 180)) + Wac * kv * Cos((a * PI / 180)) - Wac * kh * Sin((a
* PI / 180)) + Wsa * Cos((a * PI / 180)) - Wsa * kh * Sin((a *
PI / 180)) + Wsa * kv * Cos((a * PI / 180))) * Tan((aa * PI /
180)), 5) 'RESISTENTE

    ListBox2.List(x, 6) = Round((ListBox2.List(x,
5) / f) / ListBox2.List(x, 4), 5) 'FATOR DE SEGURANÇA

    If    ListBox2.List(x,    6)    >=    1    Then
ListBox2.List(x, 8) = "OK" Else ListBox2.List(x, 8) = "-"
'ANÁLISE CGS

    'CPS

    ListBox2.List(x, 1) = Round(Wac * Sin((a * PI /
180)) + Wac * kv * Sin((a * PI / 180)) + Wac * kh * Cos((a * PI
/ 180)) + Wsa * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Sin((a * PI /
180)) + Wsa * kh * Cos((a * PI / 180)) + Ja, 5) 'SOLICITANTE
    ListBox2.List(x, 2) = Round((c / cps2) + (Wac *
Cos((a * PI / 180)) + Wac * kv * Cos((a * PI / 180)) - Wac * kh
* Sin((a * PI / 180)) + Wsa * Cos((a * PI / 180)) - Wsa * kh *
Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Cos((a * PI / 180))) * (Tan((aa
* PI / 180)) / cps1), 5) 'RESISTENTE

    ListBox2.List(x, 3) = Round(ListBox2.List(x, 2)
/ ListBox2.List(x, 1), 5) 'FATOR DE SEGURANÇA

    If    ListBox2.List(x,    3)    >=    1    Then
ListBox2.List(x, 7) = "OK" Else ListBox2.List(x, 7) = "-"
'ANÁLISE CPS

    End If

    'PREENCHIMENTO ACUMULADOS
    ListBox3.AddItem
    ListBox3.List(x, 0) = Wac
    ListBox3.List(x, 1) = Wsa
    ListBox3.List(x, 2) = ht
    ListBox3.List(x, 3) = Ja
    ListBox3.List(x, 4) = c
    ListBox3.List(x, 5) = aa

    Next x
'FIM CÁLCULO
Else

```

```
        MsgBox "Altura do nível freático é maior do que a
altura total do talude", vbInformation, "ANÁLISE DE TALUDE"
    End If
Else
    MsgBox "Contém erros de preenchimento", vbInformation,
"ANÁLISE DE TALUDE"
    End If

End Sub
```

## ANEXO III – CODIFICAÇÃO UTILIZADA PARA SOLUÇÕES DE ESTABILIZAÇÃO

```
Private Sub CommandButton4_Click()  
Dim x As Integer  
Dim CPS, CGS As Integer  
Dim CPSO, CGSO As Boolean  
Dim Wac, Wsa, ht, Ja, dist As Double  
Dim mb  
Dim dist1, dist2 As Double  
Dim cps1, cps2, cps3, cps4 'CPS RESPECTIVOS tgo' c' Cu qu  
  
PI = Application.WorksheetFunction.PI()  
  
'CALCULO  
If ListBox2.ListCount > 0 Then  
  
    'COEFICIENTES PARCIAIS DE SEGURANÇA  
    cps1 = Sheets("FORMULAÇÃO").Range("D" & 2).Value 'tgo'  
    cps2 = Sheets("FORMULAÇÃO").Range("D" & 3).Value 'c'  
    cps3 = Sheets("FORMULAÇÃO").Range("D" & 4).Value 'Cu  
    cps4 = Sheets("FORMULAÇÃO").Range("D" & 5).Value 'qu  
  
    If ListBox2.List(0, 0) = "Redução da Altura" Then 'REDUÇÃO  
DA ALTURA  
        For verificoesao = 0 To ListBox1.ListCount - 1  
            If ListBox1.List(verifcoesao, 1) = 0 Then  
                MsgBox "Redução de altura não se aplica a solos  
puramente friccionais, adotar outra solução de estabilidade.",  
vbOKOnly, "ANÁLISE DE TALUDES"  
                Exit Sub  
            End If  
        Next verificoesao  
        'ALTURA TOTAL  
        htotal = 0  
        For x = 0 To ListBox1.ListCount - 1  
            htotal = htotal + ListBox1.List(x, 5)  
        Next x  
  
RETORNO:  
        ListBox3.Clear  
        Wac = 0 'W ACUMULADO  
        ht = 0 'ALTURA ACUMULADA  
        a = TALUDE_HE_SNF.TextBox1.Value 'INCLINAÇÃO DO  
TALUDE  
        f = TALUDE_HE_SNF.TextBox2.Value 'FATOR DE SEGURANÇA  
GLOBAL  
        kh = TALUDE_HE_SNF.TextBox3.Value 'FATOR SISMICO  
HORIZONTAL
```

```

kv = TALUDE_HE_SNF.TextBox4.Value 'FATOR SISMICO
VERTICAL

For x = 0 To ListBox1.ListCount - 1

    If x < ListBox1.ListCount - 1 Then 'VERIFICA CADA
CAMADA MENOS A ÚLTIMA

        'RECEBIMENTO DAS VARIÁVEIS
        c = WorksheetFunction.Min(ListBox1.List(x, 1),
ListBox1.List(x + 1, 1)) 'COESAO
        aa = WorksheetFunction.Min(ListBox1.List(x, 2),
ListBox1.List(x + 1, 2)) 'ANGULO DE ATRITO
        pe = ListBox1.List(x, 3) 'PESO ESPECÍFICO
        pes = ListBox1.List(x, 4) 'PESO ESPECIFICO
SATURADO

        h = ListBox1.List(x, 5) 'ALTURA

        ListBox3.AddItem
        ListBox3.List(x, 0) = "Camada " & x + 1
'NUMERAÇÃO DA CAMADA

        W = pe * h * Cos((a * PI / 180))
        Wac = Wac + W 'SOMATÓRIO DOS W
        ht = ht + h 'SOMATÓRIO DAS ALTURAS

        'CGS

        ListBox3.List(x, 4) = Round(Wac * Sin((a * PI /
180)) + Wac * kv * Sin((a * PI / 180)) + Wac * kh * Cos((a * PI
/ 180)), 5) 'SOLICITANTE
        ListBox3.List(x, 5) = Round(c + (Wac * Cos((a *
PI / 180)) + Wac * kv * Cos((a * PI / 180)) - Wac * kh * Sin((a
* PI / 180))) * Tan((aa * PI / 180)), 5) 'RESISTENTE

        ListBox3.List(x, 6) = Round((ListBox3.List(x,
5) / f) / ListBox3.List(x, 4), 5) 'FATOR DE SEGURANÇA

        If ListBox3.List(x, 6) >= 1 Then
ListBox3.List(x, 8) = "OK" Else ListBox3.List(x, 8) = "-"
'ANÁLISE CGS

        'CPS

        ListBox3.List(x, 1) = Round(Wac * Sin((a * PI /
180)) + Wac * kv * Sin((a * PI / 180)) + Wac * kh * Cos((a * PI
/ 180)), 5) 'SOLICITANTE
        ListBox3.List(x, 2) = Round((c / cps2) + (Wac *
Cos((a * PI / 180)) + Wac * kv * Cos((a * PI / 180)) - Wac * kh
* Sin((a * PI / 180))) * (Tan((aa * PI / 180)) / cps1), 5)
'RESISTENTE

```

```

        ListBox3.List(x, 3) = Round(ListBox3.List(x, 2)
/ ListBox3.List(x, 1), 5) 'FATOR DE SEGURANÇA

        If      ListBox3.List(x, 3)      >=      1      Then
ListBox3.List(x, 7) = "OK" Else ListBox3.List(x, 7) = "-"
'ANÁLISE CPS

        Else 'VERIFICA A ÚLTIMA CAMADA DE FORMA DIFERENTE

        c = ListBox1.List(x, 1) 'COESAO
        aa = ListBox1.List(x, 2) 'ANGULO DE ATRITO
        pe = ListBox1.List(x, 3) 'PESO ESPECÍFICO
        pes = ListBox1.List(x, 4) 'PESO ESPECIFICO
SATURADO
        h = ListBox1.List(x, 5) 'ALTURA

        ListBox3.AddItem
        ListBox3.List(x, 0) = "Camada " & x + 1
'NUMERAÇÃO DA CAMADA
        W = pe * h * Cos((a * PI / 180))
        Wac = Wac + W 'SOMATÓRIO DOS W
        ht = ht + h 'SOMATÓRIO DAS ALTURAS

        'CGS

        ListBox3.List(x, 4) = Round(Wac * Sin((a * PI /
180)) + Wac * kv * Sin((a * PI / 180)) + Wac * kh * Cos((a * PI
/ 180)) + Wsa * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Sin((a * PI /
180)) + Wsa * kh * Cos((a * PI / 180)) + Ja, 5) 'SOLICITANTE
        ListBox3.List(x, 5) = Round(c + (Wac * Cos((a *
PI / 180)) + Wac * kv * Cos((a * PI / 180)) - Wac * kh * Sin((a
* PI / 180)) + Wsa * Cos((a * PI / 180)) - Wsa * kh * Sin((a *
PI / 180)) + Wsa * kv * Cos((a * PI / 180))) * Tan((aa * PI /
180)), 5) 'RESISTENTE

        ListBox3.List(x, 6) = Round((ListBox3.List(x,
5) / f) / ListBox3.List(x, 4), 5) 'FATOR DE SEGURANÇA

        If      ListBox3.List(x, 6)      >=      1      Then
ListBox3.List(x, 8) = "OK" Else ListBox3.List(x, 8) = "-"
'ANÁLISE CGS

        'CPS

        ListBox3.List(x, 1) = Round(Wac * Sin((a * PI /
180)) + Wac * kv * Sin((a * PI / 180)) + Wac * kh * Cos((a * PI
/ 180)) + Wsa * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Sin((a * PI /
180)) + Wsa * kh * Cos((a * PI / 180)) + Ja, 5) 'SOLICITANTE
        ListBox3.List(x, 2) = Round((c / cps2) + (Wac *
Cos((a * PI / 180)) + Wac * kv * Cos((a * PI / 180)) - Wac * kh

```

```

* Sin((a * PI / 180)) + Wsa * Cos((a * PI / 180)) - Wsa * kh *
Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Cos((a * PI / 180))) * (Tan((aa
* PI / 180)) / cps1), 5) 'RESISTENTE

        ListBox3.List(x, 3) = Round(ListBox3.List(x, 2)
/ ListBox3.List(x, 1), 5) 'FATOR DE SEGURANÇA

        If      ListBox3.List(x,      3)      >=      1      Then
ListBox3.List(x, 7) = "OK" Else ListBox3.List(x, 7) = "-"
'ANÁLISE CPS

        End If
Next x

        'VERIFICAR SE TEM ERRO PARA APLICAR FORMULAÇÃO
conterro = 0
For y = 0 To ListBox1.ListCount - 1
        If ListBox3.List(y, 7) = "-" Or ListBox3.List(y,
8) = "-" Then conterro = conterro + 1
Next y
If conterro <> 0 Then
        If testefeito = 1 Then
                ListBox1.RemoveItem (0)
                ListBox3.Clear
                testefeito = 0
                GoTo RETORNO
        End If
End If

conterro = 0
For y = 0 To ListBox1.ListCount - 1
        If ListBox3.List(y, 7) = "-" Or ListBox3.List(y,
8) = "-" Then conterro = conterro + 1
Next y
If conterro <> 0 Then
        If ListBox1.ListCount > 1 Then
                c = WorksheetFunction.Min(ListBox1.List(0,
1), ListBox1.List(1, 1)) 'COESAO
                aa = WorksheetFunction.Min(ListBox1.List(0,
2), ListBox1.List(1, 2)) 'ANGULO DE ATRITO
                pe = ListBox1.List(0, 3) 'PESO ESPECÍFICO

                'PARA CPS
                altcps = Round((c / cps2) / (pe * Cos((a *
PI / 180)) * ((Sin((a * PI / 180))) + (kv * Sin((a * PI / 180)))
+ (kh * Cos((a * PI / 180))) - (Cos((a * PI / 180)) * (Tan((aa
* PI / 180)) / cps1)) + (kh * Sin((a * PI / 180)) * (Tan((aa *
PI / 180)) / cps1)) - (kv * Cos((a * PI / 180)) * (Tan((aa * PI
/ 180)) / cps1))))), 5)

```

```

'PARA CGS
altcgs = Round((c) / (pe * Cos((a * PI /
180)) * ((Sin((a * PI / 180)) * f) + (kv * Sin((a * PI / 180))
* f) + (kh * Cos((a * PI / 180)) * f) - (Cos((a * PI / 180)) *
Tan((aa * PI / 180))) + (kh * Sin((a * PI / 180)) * Tan((aa * PI
/ 180))) - (kv * Cos((a * PI / 180)) * Tan((aa * PI / 180))))),
5)

```

```

Else

```

```

c = ListBox1.List(0, 1) 'COESAO
aa = ListBox1.List(0, 2) 'ANGULO DE ATRITO
pe = ListBox1.List(0, 3) 'PESO ESPECÍFICO
mssgbox c
MsgBox aa
MsgBox pe

```

```

'PARA CPS

```

```

altcps = Round((c / cps2) / (pe * Cos((a *
PI / 180)) * ((Sin((a * PI / 180))) + (kv * Sin((a * PI / 180)))
+ (kh * Cos((a * PI / 180))) - (Cos((a * PI / 180)) * (Tan((aa
* PI / 180)) / cps1)) + (kh * Sin((a * PI / 180)) * (Tan((aa *
PI / 180)) / cps1)) - (kv * Cos((a * PI / 180)) * (Tan((aa * PI
/ 180)) / cps1))))), 5)

```

```

'PARA CGS

```

```

altcgs = Round((c) / (pe * Cos((a * PI /
180)) * ((Sin((a * PI / 180)) * f) + (kv * Sin((a * PI / 180))
* f) + (kh * Cos((a * PI / 180)) * f) - (Cos((a * PI / 180)) *
Tan((aa * PI / 180))) + (kh * Sin((a * PI / 180)) * Tan((aa * PI
/ 180))) - (kv * Cos((a * PI / 180)) * Tan((aa * PI / 180))))),
5)

```

```

End If

```

```

If altcps < altcgs Then

```

```

ListBox1.List(0, 5) = altcps

```

```

Else

```

```

ListBox1.List(0, 5) = altcgs

```

```

End If

```

```

testefeito = 1

```

```

GoTo RETORNO

```

```

End If

```

```

'FIM REDUÇÃO DE ALTURA

```

```

Else

```

```

If ListBox2.List(0, 0) = "Aplicação de Pregagem" Then
'APLICAÇÃO DE PREGAGEM

```

```

'ENCONTRAR CAMADA DE DESLIZAMENTO

```

```

CPS = TALUDE_HE_SNF.ListBox2.ListCount - 1
CGS = TALUDE_HE_SNF.ListBox2.ListCount - 1

If CGS > CPS Then prof = CGS Else prof = CPS 'VÊ EM
QUAL ANÁLISE OCORRE A RUPTURA EM CAMADA MAIS PROFUNDA

Wac = TALUDE_HE_SNF.ListBox3.List (prof, 0)
Wsa = TALUDE_HE_SNF.ListBox3.List (prof, 1)
ht = TALUDE_HE_SNF.ListBox3.List (prof, 2)
Ja = TALUDE_HE_SNF.ListBox3.List (prof, 3)
c = TALUDE_HE_SNF.ListBox3.List (prof, 4)
aa = TALUDE_HE_SNF.ListBox3.List (prof, 5)

Trespre = ListBox2.List (1, 1)
a = TALUDE_HE_SNF.TextBox1.Value 'INCLINAÇÃO DO
TALUDE
HORIZONTAL
kh = TALUDE_HE_SNF.TextBox3.Value 'COEF SISMICO
HORIZONTAL
kv = TALUDE_HE_SNF.TextBox4.Value 'COEF SISMICO
VERTICAL
f = TALUDE_HE_SNF.TextBox2.Value 'COEFICIENTE
GLOBAL DE SEGURANÇA

'MALHA PREGRAGEM PARA CGS
dist1 = ListBox2.List (2, 1)

'MALHA PREGAGEM PARA CPS
dist2 = ListBox2.List (2, 1)

ListBox3.Clear
Wac = 0 'W ACUMULADO
Wsa = 0 'W SATURADO ACUMULADO
ht = 0 'ALTURA ACUMULADA
Ja = 0 'PERCOLAÇÃO ACUMULADA
nfe = False 'NIVEL FREATICO ENCONTRADO

For x = 0 To ListBox1.ListCount - 1

If x < ListBox1.ListCount - 1 Then

'RECEBIMENTO DAS VARIÁVEIS
c = WorksheetFunction.Min (ListBox1.List (x, 1),
ListBox1.List (x + 1, 1)) 'COESAO
aa = WorksheetFunction.Min (ListBox1.List (x, 2),
ListBox1.List (x + 1, 2)) 'ANGULO DE ATRITO
pe = ListBox1.List (x, 3) 'PESO ESPECÍFICO
pes = ListBox1.List (x, 4) 'PESO ESPECIFICO
SATURADO
h = ListBox1.List (x, 5) 'ALTURA

```

```

        ListBox3.AddItem
        ListBox3.List(x, 0) = "Camada " & x + 1
'NUMERAÇÃO DA CAMADA

        If nfe = False Then 'VERIFICA SE NIVEL FREATICO
NÃO FOI ENCONTRADO
            htt = ht + h
            If htt > hz Then 'NIVEL FREATICO ENCONTRADO
                nfe = True
                W = pe * hz * Cos((a * PI / 180)) 'W
                Wac = Wac + W 'W ACUMULADO
                Ws = (pes - 9.81) * ((ht + h) - hz) *
Cos((a * PI / 180)) 'W SATURADO
                Wsa = Wsa + Ws 'W SATURADO ACUMULADO
                J = Sin((a * PI / 180)) * 9.81 * ((ht +
h) - hz) * Cos((a * PI / 180)) 'PERCOLAÇÃO
                Ja = Ja + J 'PERCOLAÇÃO ACUMULADA
                ht = ht + h 'SOMATÓRIO DAS ALTURAS
            Else 'NIVEL FREATICO NÃO ENCONTRADO AINDA
                W = pe * h * Cos((a * PI / 180))
                Wac = Wac + W 'SOMATÓRIO DOS W
                ht = ht + h 'SOMATÓRIO DAS ALTURAS
            End If
        Else
            Ws = (pes - 9.81) * h * Cos((a * PI / 180))
'W SATURADO
            Wsa = Wsa + Ws 'W SATURADO ACUMULADO
            J = Sin((a * PI / 180)) * 9.81 * h * Cos((a
* PI / 180)) 'PERCOLAÇÃO
            Ja = Ja + J 'PERCOLAÇÃO ACUMULADA
            ht = ht + h 'SOMATÓRIO DAS ALTURAS
        End If

        'CGS

        ListBox3.List(x, 4) = Round(Wac * Sin((a * PI /
180)) + Wac * kv * Sin((a * PI / 180)) + Wac * kh * Cos((a * PI
/ 180)) + Wsa * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Sin((a * PI /
180)) + Wsa * kh * Cos((a * PI / 180)) + Ja, 5) 'SOLICITANTE
        If CGS >= x Then 'CONDIÇÃO PARA ACRESCENTAR
PREGAGEM ATÉ ANTES DO KO
            ListBox3.List(x, 5) = Round(c + (Wac *
Cos((a * PI / 180)) + Wac * kv * Cos((a * PI / 180)) - Wac * kh
* Sin((a * PI / 180)) + Wsa * Cos((a * PI / 180)) - Wsa * kh *
Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Cos((a * PI / 180))) * Tan((aa
* PI / 180)) + (ListBox2.List(1, 1) / dist1), 5) 'RESISTENTE
        Else
            ListBox3.List(x, 5) = Round(c + (Wac *
Cos((a * PI / 180)) + Wac * kv * Cos((a * PI / 180)) - Wac * kh
* Sin((a * PI / 180)) + Wsa * Cos((a * PI / 180)) - Wsa * kh *

```

```

Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Cos((a * PI / 180))) * Tan((aa
* PI / 180)), 5) 'RESISTENTE
    End If

    ListBox3.List(x, 6) = Round((ListBox3.List(x,
5) / f) / ListBox3.List(x, 4), 5) 'FATOR DE SEGURANÇA

    If    ListBox3.List(x,    6)    >=    1    Then
ListBox3.List(x, 8) = "OK" Else ListBox3.List(x, 8) = "-"
'ANÁLISE CGS

    'CPS

    ListBox3.List(x, 1) = Round(Wac * Sin((a * PI /
180)) + Wac * kv * Sin((a * PI / 180)) + Wac * kh * Cos((a * PI
/ 180)) + Wsa * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Sin((a * PI /
180)) + Wsa * kh * Cos((a * PI / 180)) + Ja, 5) 'SOLICITANTE
    If CPS >= x Then 'CONDIÇÃO PARA ACRESCENTAR
PREGAGEM ATÉ ANTES DO KO
        ListBox3.List(x, 2) = Round((c / cps2) +
(Wac * Cos((a * PI / 180)) + Wac * kv * Cos((a * PI / 180)) -
Wac * kh * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * Cos((a * PI / 180)) - Wsa
* kh * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Cos((a * PI / 180))) *
(Tan((aa * PI / 180)) / cps1) + (ListBox2.List(1, 1) / dist2),
5) 'RESISTENTE
    Else
        ListBox3.List(x, 2) = Round((c / cps2) +
(Wac * Cos((a * PI / 180)) + Wac * kv * Cos((a * PI / 180)) -
Wac * kh * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * Cos((a * PI / 180)) - Wsa
* kh * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Cos((a * PI / 180))) *
(Tan((aa * PI / 180)) / cps1), 5) 'RESISTENTE
    End If

    ListBox3.List(x, 3) = Round(ListBox3.List(x, 2)
/ ListBox3.List(x, 1), 5) 'FATOR DE SEGURANÇA

    If    ListBox3.List(x,    3)    >=    1    Then
ListBox3.List(x, 7) = "OK" Else ListBox3.List(x, 7) = "-"
'ANÁLISE CPS

    Else
c = ListBox1.List(x, 1) 'COESAO
aa = ListBox1.List(x, 2) 'ANGULO DE ATRITO
pe = ListBox1.List(x, 3) 'PESO ESPECÍFICO
pes = ListBox1.List(x, 4) 'PESO ESPECIFICO
SATURADO

h = ListBox1.List(x, 5) 'ALTURA

    ListBox3.AddItem
    ListBox3.List(x, 0) = "Camada " & x + 1
'NUMERAÇÃO DA CAMADA

```

```

        If nfe = False Then 'VERIFICA SE NIVEL FREATICO
NÃO FOI ENCONTRADO
            htt = ht + h
            If htt > hz Then 'NIVEL FREATICO ENCONTRADO
                nfe = True
                W = pe * hz * Cos((a * PI / 180)) 'W
                Wac = Wac + W 'W ACUMULADO
                Ws = (pes - 9.81) * ((ht + h) - hz) *
Cos((a * PI / 180)) 'W SATURADO
                Wsa = Wsa + Ws 'W SATURADO ACUMULADO
                J = Sin((a * PI / 180)) * 9.81 * ((ht +
h) - hz) * Cos((a * PI / 180)) 'PERCOLAÇÃO
                Ja = Ja + J 'PERCOLAÇÃO ACUMULADA
                ht = ht + h 'SOMATÓRIO DAS ALTURAS
            Else 'NIVEL FREATICO NÃO ENCONTRADO AINDA
                W = pe * h * Cos((a * PI / 180))
                Wac = Wac + W 'SOMATÓRIO DOS W
                ht = ht + h 'SOMATÓRIO DAS ALTURAS
            End If
        Else
            Ws = (pes - 9.81) * h * Cos((a * PI / 180))
'W SATURADO
            Wsa = Wsa + Ws 'W SATURADO ACUMULADO
            J = Sin((a * PI / 180)) * 9.81 * h * Cos((a
* PI / 180)) 'PERCOLAÇÃO
            Ja = Ja + J 'PERCOLAÇÃO ACUMULADA
            ht = ht + h 'SOMATÓRIO DAS ALTURAS
        End If

        'CGS

        ListBox3.List(x, 4) = Round(Wac * Sin((a * PI /
180)) + Wac * kv * Sin((a * PI / 180)) + Wac * kh * Cos((a * PI
/ 180)) + Wsa * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Sin((a * PI /
180)) + Wsa * kh * Cos((a * PI / 180)) + Ja, 5) 'SOLICITANTE
        If CGS >= x Then 'CONDIÇÃO PARA ACRESCENTAR
PREGAGEM ATÉ ANTES DO KO
            ListBox3.List(x, 5) = Round(c + (Wac *
Cos((a * PI / 180)) + Wac * kv * Cos((a * PI / 180)) - Wac * kh
* Sin((a * PI / 180)) + Wsa * Cos((a * PI / 180)) - Wsa * kh *
Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Cos((a * PI / 180))) * Tan((aa
* PI / 180)) + (ListBox2.List(1, 1) / dist1), 5) 'RESISTENTE
        Else
            ListBox3.List(x, 5) = Round(c + (Wac *
Cos((a * PI / 180)) + Wac * kv * Cos((a * PI / 180)) - Wac * kh
* Sin((a * PI / 180)) + Wsa * Cos((a * PI / 180)) - Wsa * kh *
Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Cos((a * PI / 180))) * Tan((aa
* PI / 180)), 5) 'RESISTENTE
        End If

```

```

        ListBox3.List(x, 6) = Round((ListBox3.List(x,
5) / f) / ListBox3.List(x, 4), 5) 'FATOR DE SEGURANÇA

        If    ListBox3.List(x,    6)    >=    1    Then
ListBox3.List(x, 8) = "OK" Else ListBox3.List(x, 8) = "-"
'ANÁLISE CGS

        'CPS

        ListBox3.List(x, 1) = Round(Wac * Sin((a * PI /
180)) + Wac * kv * Sin((a * PI / 180)) + Wac * kh * Cos((a * PI
/ 180)) + Wsa * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Sin((a * PI /
180)) + Wsa * kh * Cos((a * PI / 180)) + Ja, 5) 'SOLICITANTE
        If CPS >= x Then 'CONDIÇÃO PARA ACRESCENTAR
PREGAGEM ATÉ ANTES DO KO
                ListBox3.List(x, 2) = Round((c / cps2) +
(Wac * Cos((a * PI / 180)) + Wac * kv * Cos((a * PI / 180)) -
Wac * kh * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * Cos((a * PI / 180)) - Wsa
* kh * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Cos((a * PI / 180))) *
(Tan((aa * PI / 180)) / cps1) + (ListBox2.List(1, 1) / dist2),
5) 'RESISTENTE
        Else
                ListBox3.List(x, 2) = Round((c / cps2) +
(Wac * Cos((a * PI / 180)) + Wac * kv * Cos((a * PI / 180)) -
Wac * kh * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * Cos((a * PI / 180)) - Wsa
* kh * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Cos((a * PI / 180))) *
(Tan((aa * PI / 180)) / cps1), 5) 'RESISTENTE
        End If

        ListBox3.List(x, 3) = Round(ListBox3.List(x, 2)
/ ListBox3.List(x, 1), 5) 'FATOR DE SEGURANÇA

        If    ListBox3.List(x,    3)    >=    1    Then
ListBox3.List(x, 7) = "OK" Else ListBox3.List(x, 7) = "-"
'ANÁLISE CPS

        End If

        Next x
        'FIM CÁLCULO

    Else
        If ListBox2.List(0, 0) = "Aplicação de Ancoragem"
Then 'APLICAÇÃO DE ANCORAGEM

                CPS = TALUDE_HE_SNF.ListBox2.ListCount - 1
                CGS = TALUDE_HE_SNF.ListBox2.ListCount - 1
                prof = TALUDE_HE_SNF.ListBox2.ListCount - 1

```

```

Wac = TALUDE_HE_SNF.ListBox3.List (prof, 0)
Wsa = TALUDE_HE_SNF.ListBox3.List (prof, 1)
ht = TALUDE_HE_SNF.ListBox3.List (prof, 2)
Ja = TALUDE_HE_SNF.ListBox3.List (prof, 3)
c = TALUDE_HE_SNF.ListBox3.List (prof, 4)
aa = TALUDE_HE_SNF.ListBox3.List (prof, 5)

Trespre = ListBox2.List (1, 1)
a = TALUDE_HE_SNF.TextBox1.Value
'INCLINAÇÃO DO TALUDE
SISMICO HORIZONTAL kh = TALUDE_HE_SNF.TextBox3.Value 'COEF
SISMICO VERTICAL kv = TALUDE_HE_SNF.TextBox4.Value 'COEF
f = TALUDE_HE_SNF.TextBox2.Value
'COEFICIENTE GLOBAL DE SEGURANÇA

'MALHA PREGRAGEM PARA CGS
dist1 = ListBox2.List (3, 1)
'MALHA PREGAGEM PARA CPS
dist2 = ListBox2.List (3, 1)

aanc = ListBox2.List (2, 1)

'ÍNICIO CÁLCULO

ListBox3.Clear
Wac = 0 'W ACUMULADO
Wsa = 0 'W SATURADO ACUMULADO
ht = 0 'ALTURA ACUMULADA
Ja = 0 'PERCOLAÇÃO ACUMULADA
nfe = False 'NIVEL FREATICO ENCONTRADO

For x = 0 To ListBox1.ListCount - 1

    If x < ListBox1.ListCount - 1 Then
'DIFERENCIAR DA ÚLTIMA VERIFICAÇÃO

        'RECEBIMENTO DAS VARIÁVEIS
        c =
WorksheetFunction.Min (ListBox1.List (x, 1), ListBox1.List (x + 1,
1)) 'COESAO
        aa =
WorksheetFunction.Min (ListBox1.List (x, 2), ListBox1.List (x + 1,
2)) 'ANGULO DE ATRITO
        pe = ListBox1.List (x, 3) 'PESO
ESPECÍFICO
        pes = ListBox1.List (x, 4) 'PESO
ESPECIFICO SATURADO
        h = ListBox1.List (x, 5) 'ALTURA

```

```

ListBox3.AddItem
ListBox3.List(x, 0) = "Camada " & x + 1
'NUMERAÇÃO DA CAMADA

If nfe = False Then 'VERIFICA SE NIVEL
FREATICO NÃO FOI ENCONTRADO
    htt = ht + h
    If htt > hz Then 'NIVEL FREATICO
ENCONTRADO
        nfe = True
        W = pe * hz * Cos((a * PI / 180))
'W
        Wac = Wac + W 'W ACUMULADO
        Ws = (pes - 9.81) * ((ht + h) -
hz) * Cos((a * PI / 180)) 'W SATURADO
        Wsa = Wsa + Ws 'W SATURADO
ACUMULADO
        J = Sin((a * PI / 180)) * 9.81
* ((ht + h) - hz) * Cos((a * PI / 180)) 'PERCOLAÇÃO
        Ja = Ja + J 'PERCOLAÇÃO
ACUMULADA
        ht = ht + h 'SOMATÓRIO DAS
ALTURAS
    Else 'NIVEL FREATICO NÃO ENCONTRADO
        W = pe * h * Cos((a * PI / 180))
        Wac = Wac + W 'SOMATÓRIO DOS W
        ht = ht + h 'SOMATÓRIO DAS
ALTURAS
    End If
Else
    Ws = (pes - 9.81) * h * Cos((a * PI
/ 180)) 'W SATURADO
    Wsa = Wsa + Ws 'W SATURADO ACUMULADO
    J = Sin((a * PI / 180)) * 9.81 * h
* Cos((a * PI / 180)) 'PERCOLAÇÃO
    Ja = Ja + J 'PERCOLAÇÃO ACUMULADA
    ht = ht + h 'SOMATÓRIO DAS ALTURAS
End If

'CGS

'ListBox3.List(x, 4) = Round(Wac *
Sin((a * PI / 180)) + Wac * kv * Sin((a * PI / 180)) + Wac * kh
* Cos((a * PI / 180)) + Wsa * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv *
Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kh * Cos((a * PI / 180)) + Ja, 5)
'SOLICITANTE
    If CGS >= x Then 'CONDIÇÃO PARA
ACRESCENTAR PREGAGEM ATÉ ANTES DO KO

```

```

                ListBox3.List(x, 5) = Round(c + (Wac
* Cos((a * PI / 180)) + Wac * kv * Cos((a * PI / 180)) - Wac *
kh * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * Cos((a * PI / 180)) - Wsa * kh
* Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Cos((a * PI / 180))) +
((ListBox2.List(1, 1) / dist1) * Cos((aanc * PI / 180))) *
Tan((aa * PI / 180)), 5) 'RESISTENTE
                ListBox3.List(x, 4) = Round(Wac *
Sin((a * PI / 180)) + Wac * kv * Sin((a * PI / 180)) + Wac * kh
* Cos((a * PI / 180)) + Wsa * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv *
Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kh * Cos((a * PI / 180)) + Ja -
((ListBox2.List(1, 1) / dist1) * Sin((aanc * PI / 180))), 5)
'SOLICITANTE
                Else
                ListBox3.List(x, 5) = Round(c + (Wac
* Cos((a * PI / 180)) + Wac * kv * Cos((a * PI / 180)) - Wac *
kh * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * Cos((a * PI / 180)) - Wsa * kh
* Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Cos((a * PI / 180))) * Tan((aa
* PI / 180)), 5) 'RESISTENTE
                ListBox3.List(x, 4) = Round(Wac *
Sin((a * PI / 180)) + Wac * kv * Sin((a * PI / 180)) + Wac * kh
* Cos((a * PI / 180)) + Wsa * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv *
Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kh * Cos((a * PI / 180)) + Ja, 5)
'SOLICITANTE
                End If
                ListBox3.List(x, 6) =
Round((ListBox3.List(x, 5) / f) / ListBox3.List(x, 4), 5) 'FATOR
DE SEGURANÇA
                If ListBox3.List(x, 6) >= 1 Then
ListBox3.List(x, 8) = "OK" Else ListBox3.List(x, 8) = "-"
'ANÁLISE CGS
                'CPS
                ListBox3.List(x, 1) = Round(Wac * Sin((a
* PI / 180)) + Wac * kv * Sin((a * PI / 180)) + Wac * kh * Cos((a
* PI / 180)) + Wsa * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Sin((a *
PI / 180)) + Wsa * kh * Cos((a * PI / 180)) + Ja -
((ListBox2.List(1, 1) / dist2) * Sin((aanc * PI / 180))), 5)
'SOLICITANTE
                If CPS >= x Then 'CONDIÇÃO PARA
ACRESCENTAR PREGAGEM ATÉ ANTES DO KO
                ListBox3.List(x, 2) = Round((c /
cps2) + (Wac * Cos((a * PI / 180)) + Wac * kv * Cos((a * PI /
180)) - Wac * kh * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * Cos((a * PI /
180)) - Wsa * kh * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Cos((a * PI
/ 180))) * (Tan((aa * PI / 180)) / cps1) + (ListBox2.List(1, 1)
/ dist2), 5) 'RESISTENTE
                ListBox3.List(x, 1) = Round(Wac *
Sin((a * PI / 180)) + Wac * kv * Sin((a * PI / 180)) + Wac * kh

```

```

* Cos((a * PI / 180)) + Wsa * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv *
Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kh * Cos((a * PI / 180)) + Ja -
((ListBox2.List(1, 1) / dist2) * Sin((aanc * PI / 180))), 5)
'SOLICITANTE

Else
ListBox3.List(x, 2) = Round((c /
cps2) + (Wac * Cos((a * PI / 180)) + Wac * kv * Cos((a * PI /
180)) - Wac * kh * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * Cos((a * PI /
180)) - Wsa * kh * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Cos((a * PI
/ 180))) * (Tan((aa * PI / 180)) / cps1), 5) 'RESISTENTE
End If

ListBox3.List(x, 3) =
Round(ListBox3.List(x, 2) / ListBox3.List(x, 1), 5) 'FATOR DE
SEGURANÇA

If ListBox3.List(x, 3) >= 1 Then
ListBox3.List(x, 7) = "OK" Else ListBox3.List(x, 7) = "-"
'ANÁLISE CPS

Else

c = ListBox1.List(x, 1) 'COESAO
aa = ListBox1.List(x, 2) 'ANGULO DE
ATRITO
pe = ListBox1.List(x, 3) 'PESO
ESPECÍFICO
pes = ListBox1.List(x, 4) 'PESO
ESPECIFICO SATURADO
h = ListBox1.List(x, 5) 'ALTURA

ListBox3.AddItem
ListBox3.List(x, 0) = "Camada " & x + 1
'NUMERAÇÃO DA CAMADA
If nfe = False Then 'VERIFICA SE NIVEL
FREATICO NÃO FOI ENCONTRADO
htt = ht + h
If htt > hz Then 'NIVEL FREATICO
ENCONTRADO

nfe = True
W = pe * hz * Cos((a * PI / 180))
'W
Wac = Wac + W 'W ACUMULADO
Ws = (pes - 9.81) * ((ht + h) -
hz) * Cos((a * PI / 180)) 'W SATURADO
Wsa = Wsa + Ws 'W SATURADO
ACUMULADO

J = Sin((a * PI / 180)) * 9.81
* ((ht + h) - hz) * Cos((a * PI / 180)) 'PERCOLAÇÃO
Ja = Ja + J 'PERCOLAÇÃO
ACUMULADA

```

```

        ht = ht + h 'SOMATÓRIO DAS
ALTURAS
        Else 'NIVEL FREATICO NÃO ENCONTRADO
AINDA
        W = pe * h * Cos((a * PI / 180))
        Wac = Wac + W 'SOMATÓRIO DOS W
        ht = ht + h 'SOMATÓRIO DAS
ALTURAS
        End If
    Else
        Ws = (pes - 9.81) * h * Cos((a * PI
/ 180)) 'W SATURADO
        Wsa = Wsa + Ws 'W SATURADO ACUMULADO
        J = Sin((a * PI / 180)) * 9.81 * h
* Cos((a * PI / 180)) 'PERCOLAÇÃO
        Ja = Ja + J 'PERCOLAÇÃO ACUMULADA
        ht = ht + h 'SOMATÓRIO DAS ALTURAS
    End If

    'CGS

        'ListBox3.List(x, 4) = Round(Wac *
Sin((a * PI / 180)) + Wac * kv * Sin((a * PI / 180)) + Wac * kh
* Cos((a * PI / 180)) + Wsa * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv *
Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kh * Cos((a * PI / 180)) + Ja, 5)
'SOLICITANTE

        If CGS >= x Then 'CONDIÇÃO PARA
ACRESCENTAR PREGAGEM ATÉ ANTES DO KO
            ListBox3.List(x, 5) = Round(c + (Wac
* Cos((a * PI / 180)) + Wac * kv * Cos((a * PI / 180)) - Wac *
kh * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * Cos((a * PI / 180)) - Wsa * kh
* Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Cos((a * PI / 180))) +
((ListBox2.List(1, 1) / dist1) * Cos((aanc * PI / 180))) *
Tan((aa * PI / 180)), 5) 'RESISTENTE
            ListBox3.List(x, 4) = Round(Wac *
Sin((a * PI / 180)) + Wac * kv * Sin((a * PI / 180)) + Wac * kh
* Cos((a * PI / 180)) + Wsa * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv *
Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kh * Cos((a * PI / 180)) + Ja -
((ListBox2.List(1, 1) / dist1) * Sin((aanc * PI / 180))), 5)
'SOLICITANTE

        Else
            ListBox3.List(x, 5) = Round(c + (Wac
* Cos((a * PI / 180)) + Wac * kv * Cos((a * PI / 180)) - Wac *
kh * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * Cos((a * PI / 180)) - Wsa * kh
* Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Cos((a * PI / 180))) * Tan((aa
* PI / 180)), 5) 'RESISTENTE
            ListBox3.List(x, 4) = Round(Wac *
Sin((a * PI / 180)) + Wac * kv * Sin((a * PI / 180)) + Wac * kh
* Cos((a * PI / 180)) + Wsa * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv *
Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kh * Cos((a * PI / 180)) + Ja, 5)
'SOLICITANTE

```

```

End If

ListBox3.List(x, 6) =
Round((ListBox3.List(x, 5) / f) / ListBox3.List(x, 4), 5) 'FATOR
DE SEGURANÇA

If ListBox3.List(x, 6) >= 1 Then
ListBox3.List(x, 8) = "OK" Else ListBox3.List(x, 8) = "-"
'ANÁLISE CGS

'CPS

If CPS >= x Then 'CONDIÇÃO PARA
ACRESCENTAR PREGAGEM ATÉ ANTES DO KO
ListBox3.List(x, 2) = Round((c /
cps2) + (Wac * Cos((a * PI / 180)) + Wac * kv * Cos((a * PI /
180)) - Wac * kh * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * Cos((a * PI /
180)) - Wsa * kh * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Cos((a * PI
/ 180))) * (Tan((aa * PI / 180)) / cps1) + (ListBox2.List(1, 1)
/ dist2), 5) 'RESISTENTE

ListBox3.List(x, 1) = Round(Wac *
Sin((a * PI / 180)) + Wac * kv * Sin((a * PI / 180)) + Wac * kh
* Cos((a * PI / 180)) + Wsa * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv *
Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kh * Cos((a * PI / 180)) + Ja -
((ListBox2.List(1, 1) / dist2) * Sin((aanc * PI / 180))), 5)
'SOLICITANTE

Else
ListBox3.List(x, 2) = Round((c /
cps2) + (Wac * Cos((a * PI / 180)) + Wac * kv * Cos((a * PI /
180)) - Wac * kh * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * Cos((a * PI /
180)) - Wsa * kh * Sin((a * PI / 180)) + Wsa * kv * Cos((a * PI
/ 180))) * (Tan((aa * PI / 180)) / cps1), 5) 'RESISTENTE
End If

ListBox3.List(x, 3) =
Round(ListBox3.List(x, 2) / ListBox3.List(x, 1), 5) 'FATOR DE
SEGURANÇA

If ListBox3.List(x, 3) >= 1 Then
ListBox3.List(x, 7) = "OK" Else ListBox3.List(x, 7) = "-"
'ANÁLISE CPS

End If

Next x
'FIM CÁLCULO

Else

```

```
        MsgBox "Solução não encontrada.",  
vbInformation, "ANÁLISE DE TALUDES"  
    End If  
End If  
Else  
    MsgBox "Nenhuma solução definida.", vbInformation, "ANÁLISE  
DE TALUDES"  
End If  
End Sub
```