

Análise da estabilidade de taludes com muro de concreto em contrafortes e solo reforçado com geossintéticos para solos argilosos

Henrique de Oliveira Cortez

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Santo Ângelo, Brasil,
cortez_henrique@hotmail.com

Bóris Casanova Sokolovicz

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Santo Ângelo, Brasil,
bsokolovicz@yahoo.com.br

RESUMO: Cada vez mais, o estudo dos processos de instabilização de taludes e suas formas de contenção tornam-se necessários, devido às desastrosas consequências que os movimentos de terra acarretam. As ocorrências dos deslizamentos de taludes em encostas acarretam em grandes prejuízos financeiros e destruição de vidas humanas, necessitando assim, de obras emergenciais para repor o estrago ocasionado pelos mesmos. Este trabalho apresenta análises paramétricas da comparação do comportamento da contenção dos maciços de solos através da utilização de duas técnicas construtivas, sendo uma a execução de solos reforçados com a utilização de geossintéticos e a outra a construção de muros de concreto armado com contrafortes, ambas técnicas afim de obter a contenção de três encostas com alturas diferentes entre si. Com base nesse contexto, este estudo buscou através de simulações em computador com o uso dos softwares Eberick e MacStars criar situações próximas da realidade e através dos resultados obtidos identificar dentre as variáveis que influenciam no cálculo dos fatores de segurança, qual técnica construtiva proporciona maior segurança, economia e confiabilidade, tanto para obras, como na ocupação do solo. Verificou-se que os dois sistemas atendem aos requisitos de segurança de norma, cada um com suas características e situações de projeto, que devem ser levadas em conta na sua escolha pelo projetista.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilização de taludes, Solo reforçado, Geossintéticos.

1 INTRODUÇÃO

Os deslizamentos de encostas são fenômenos que fazem parte da dinâmica natural do planeta, independentemente da presença do homem. No entanto, o grande processo de urbanização do país e o crescimento das cidades brasileiras com a apropriação indevida dos espaços urbanos provocou o desencadeamento dos problemas sociais dessas áreas de risco. Além do aumento da urbanização e o desenvolvimento destas áreas sujeitas a escorregamentos, outros fatores como o desflorestamento contínuo e os aumentos das taxas de precipitação causados pelo clima influenciam diretamente na ocorrência destes

processos geológicos nas encostas dos morros.

A estabilidade de taludes e encostas naturais concentram desenvolvimento técnico-científico relacionado a diversas áreas do conhecimento, como Engenharia de Minas, Engenharia Civil, Geologia, Geologia da Engenharia, Geomorfologia e Mecânica dos Solos e das Rochas (OLIVEIRA e BRITO, 1998).

O objetivo deste trabalho consiste na análise do dimensionamento de estruturas de contenção em muros de concreto armado com contrafortes e solo reforçado com geossintéticos. Para estas análises, além dos dimensionamentos manuais, foram usados alguns softwares.

Foram realizados o ensaio de peso específico do solo e para a determinação do ângulo de atrito e coesão, o ensaio de cisalhamento direto.

2 MATERIAIS E METODOLOGIA

2.1 Peso Específico – NBR 6508/1984

Foi realizado pela norma técnica NBR 6508/1984 – Grãos de Solos que Passam na Peneira de 4,8mm - Determinação da Massa Específica.



Figura 1. Ensaio de peso específico real dos grãos

2.2 Compactação em Laboratório - Ensaio de Proctor Normal - NBR 7182 / 1986

Para determinar as curvas de compactação e determinar o ponto ótimo de compactação foi desenvolvido o ensaio com base na NBR 7182 / 1986.

2.3 Cisalhamento Direto

Este ensaio foi realizado basicamente para a determinação da resistência ao corte de um copo de prova de solo.

2.4 Limite de Liquidez (LL) – NBR 6459/1984

O Limite de liquidez foi obtido através das orientações da NBR 6459 / 1984 – Solo – Determinação do Limite de Liquidez.

2.5 Limite de Plasticidade (LP) – NBR 7180/1984

O Limite de plasticidade foi obtido através das orientações da NBR 7180 / 1984 – Solo – Determinação do Limite de Plasticidade.

2.6 Apresentação das estruturas de arrimo

Três estruturas com muros em concreto armado com contrafortes, com alturas de 4m, 8m e 12m, respectivamente, ambos com aterros de 20m de comprimento.

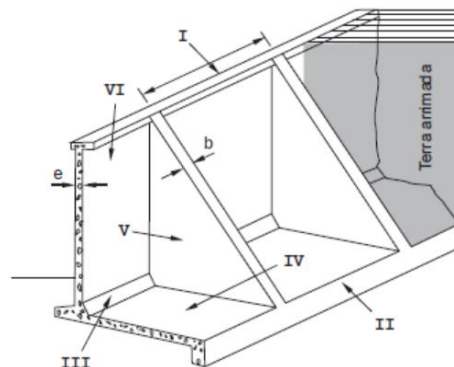


Figura 2. Muro em contrafortes

Três estruturas com solo reforçado, com alturas de 4m, 8m e 12m, respectivamente, e ambos também, com aterros de 20m de comprimento.



Figura 3. Solo reforçado

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ensaio Laboratoriais

Os ensaios foram realizados no laboratório do curso de Engenharia Civil da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), Campus Santo Ângelo. Os resultados são apresentados nas tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1. Índice obtido através do ensaio de massa específica real

Resultados		Unidade
Massa Específica Real	18,6	KN/m ³

Tabela 2. Índices obtidos através ensaio de compactação

Resultados		Unidade
Densidade Máxima	1,461	Kg/dm ³
Umidade Ótima	27,8	%

Tabela 3. Cisalhamento direto

Resultados		Unidade
Coesão	210	KN/m ²
Ângulo de atrito	42	Graus

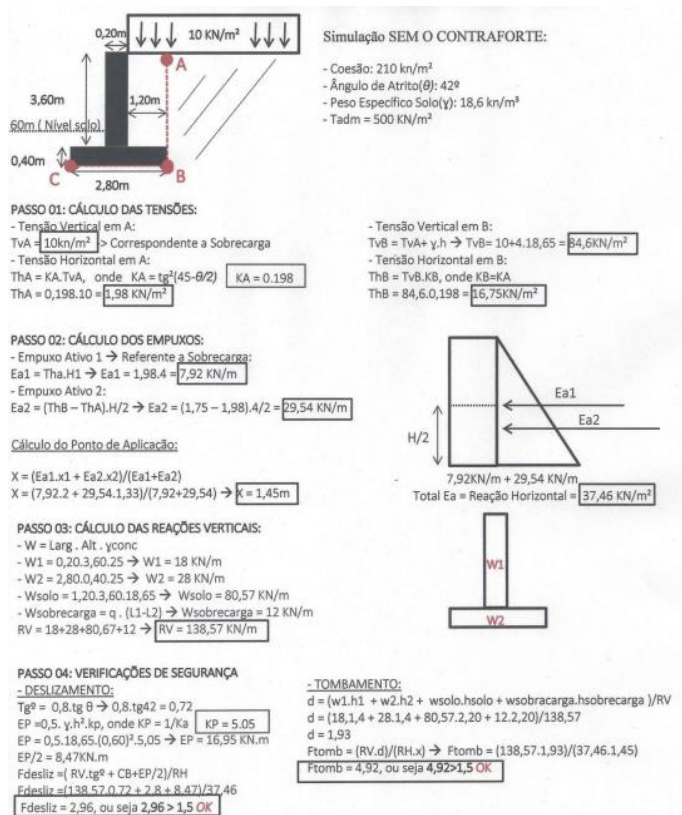
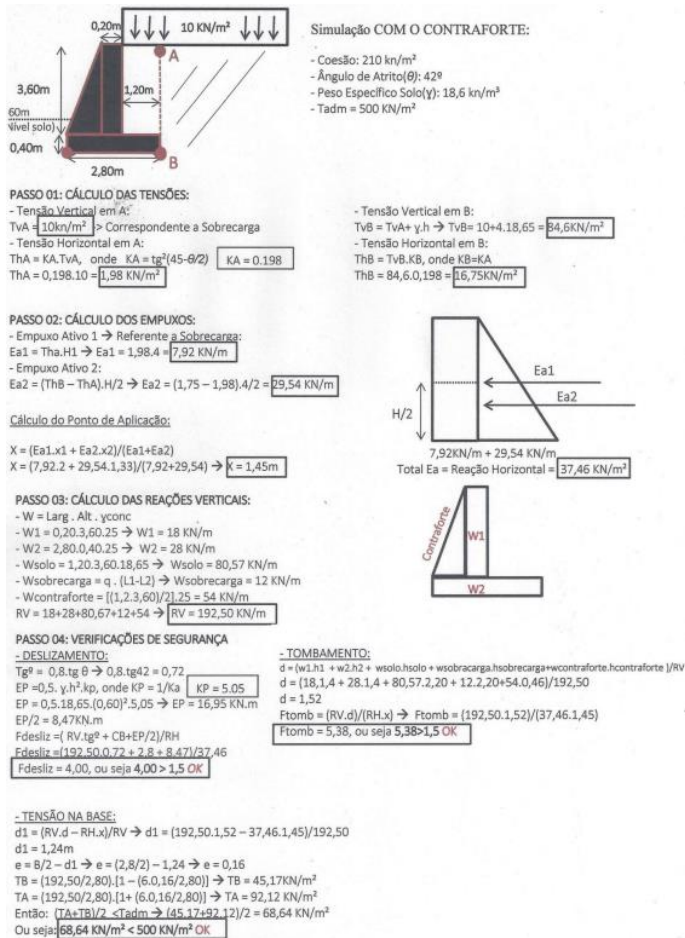
Tabela 4. Limites de Atterberg

Resultados		Unidade
Limite de Liquidez	68,00	%
Limite de plasticidade	45,35	%

Foi realizado o ensaio com o penetrômetro de anel dinamométrico para verificar a tensão admissível do solo, que foi de 5,00 Kg/cm².

3.2 Muro de contrafortes

O esquema abaixo apresenta o dimensionamento do muro de 4 metros.



Fazendo-se o cálculo manual para o muro com contrafortes, o mesmo foi realizado em duas etapas. Primeiramente realizou-se o dimensionamento no formato T invertido, ou seja, sem o contraforte.

- FsTombamento: 4,92;
- FsDeslizamento: 2,96;
- Tensão na Base: 204,18KN/m².

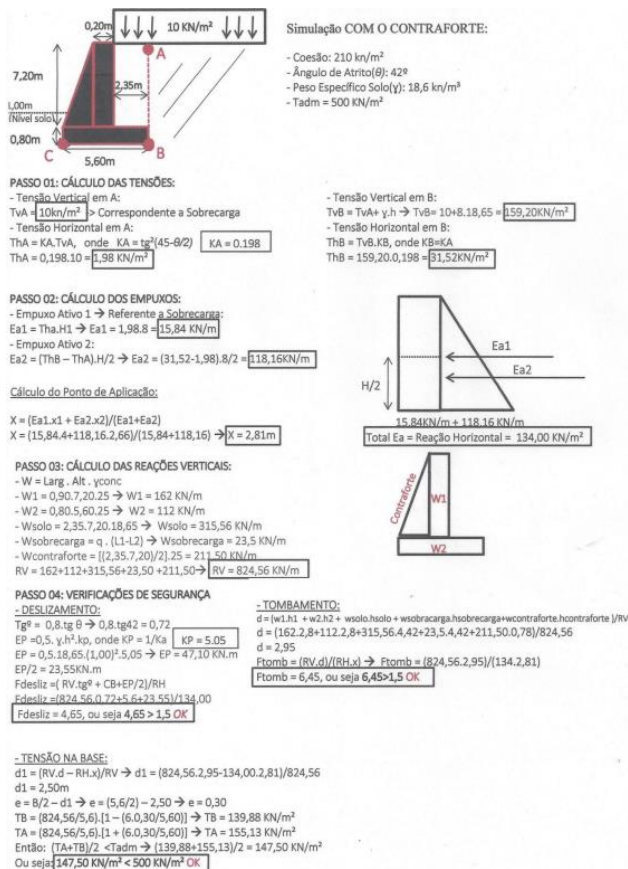
A etapa seguinte consiste no dimensionamento do muro com o contraforte embutido, onde os fatores de segurança foram os seguintes:

- FsTombamento: 5,38;
- FsDeslizamento: 4,00;
- Tensão na Base: 68,64 KN/m².

Desta maneira, conforme bibliografia existente é usual adotar como fator de segurança final a média entre o muro com e sem o contraforte.

- FsTombamento: 5,15;
- FsDeslizamento: 3,48;
- Tensão na Base: 136,41 KN/m².

O esquema abaixo apresenta o dimensionamento do muro de 8 metros.



Fazendo-se o cálculo manual para o muro com contrafortes, o mesmo foi realizado em duas etapas. Primeiramente realizou-se o dimensionamento no formato T invertido, ou seja, sem o contraforte. No presente trabalho obtiveram-se os seguintes valores de fatores de segurança:

- FsTombamento: 6,02;
- FsDeslizamento: 3,51;
- Tensão na Base: 109,47 KN/m^2 .

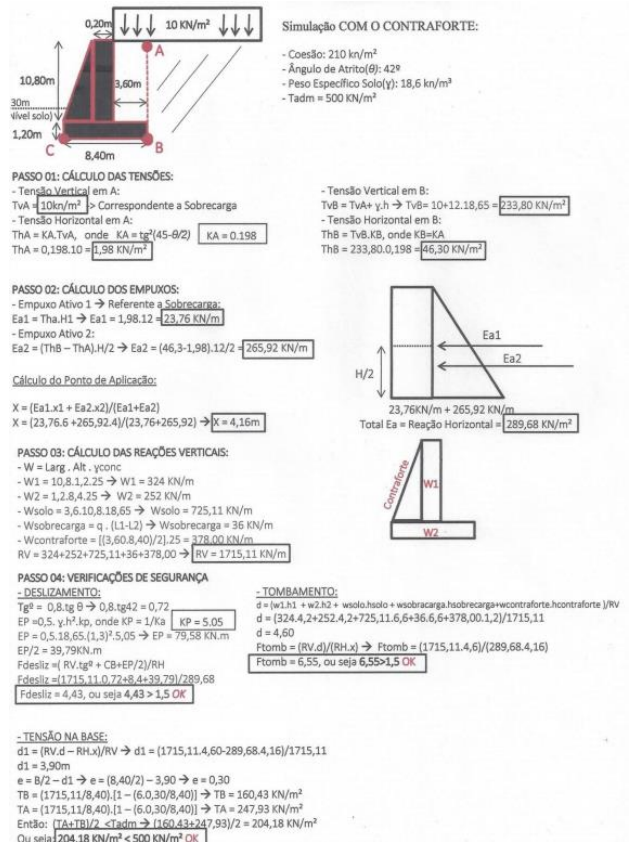
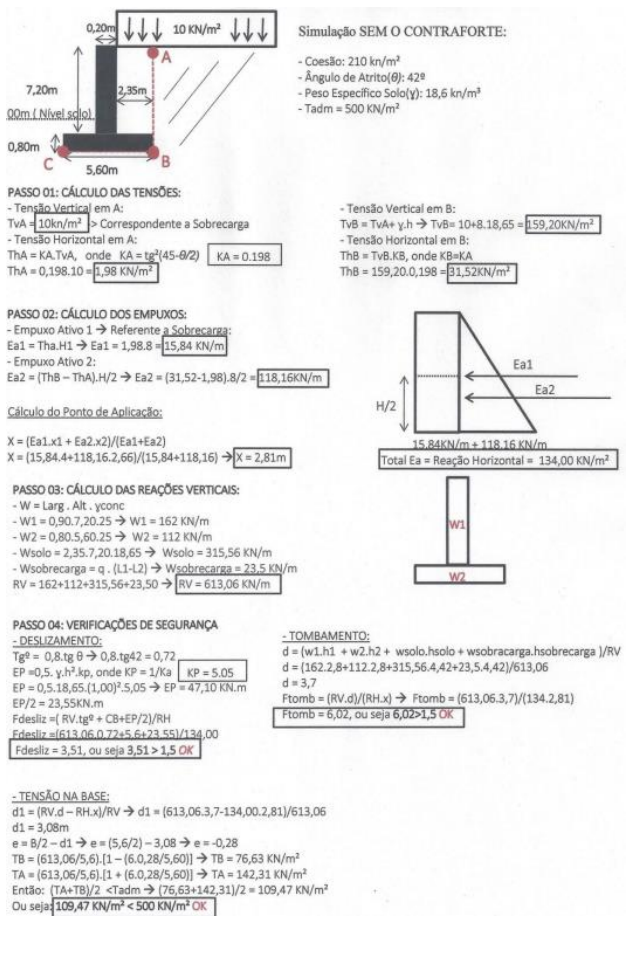
A etapa seguinte consiste no dimensionamento do muro com o contraforte embutido, onde os fatores de segurança fôramos seguintes:

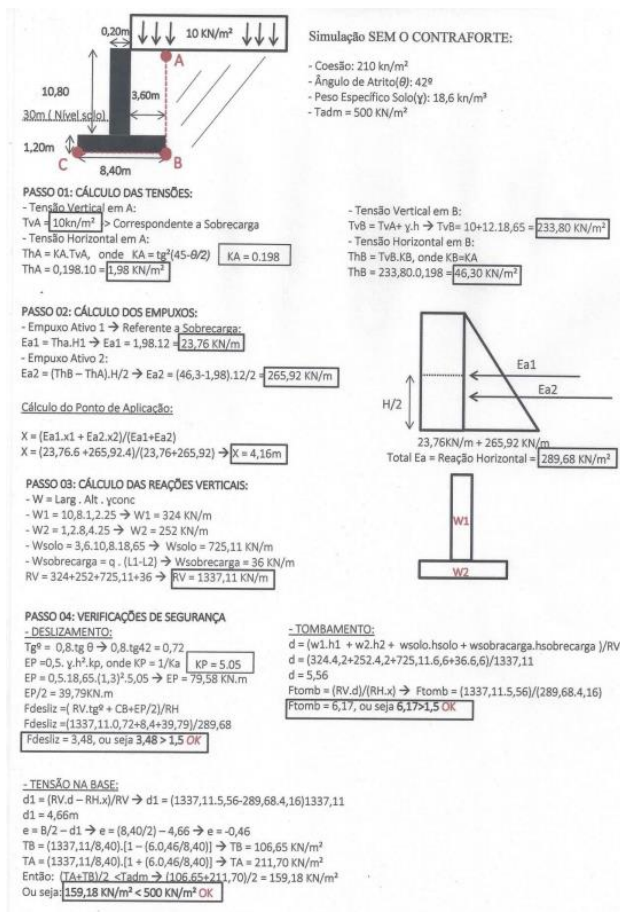
- FsTombamento: 6,45;
- FsDeslizamento: 4,65;
- Tensão na Base: 147,50 KN/m^2 .

Desta maneira, conforme bibliografia existente é usual adotar como fator de segurança final a média entre o muro com e sem o contraforte. Assim os fatores de segurança final serão os seguintes:

- FsTombamento: 6,235;
- FsDeslizamento: 4,06;
- Tensão na Base: 128,485 KN/m^2 .

O esquema abaixo apresenta o dimensionamento do muro de 12 metros.





Fazendo-se o cálculo manual para o muro com contrafortes, o mesmo foi realizado em duas etapas. Primeiramente realizou-se o dimensionamento no formato T invertido, ou seja, sem o contraforte. No presente trabalho obtiveram-se os seguintes valores de fatores de segurança:

- $Fs_{\text{Tombamento}} = 6,17$;
- $Fs_{\text{Deslizamento}} = 3,48$;
- Tensão na Base: 159,18 kN/m².

A etapa seguinte consiste no dimensionamento do muro com o contraforte embutido, onde os fatores de segurança fôramos seguintes:

- $Fs_{\text{Tombamento}} = 6,55$;
- $Fs_{\text{Deslizamento}} = 4,43$;
- Tensão na Base: 204,18 kN/m².

Desta maneira, conforme bibliografia existente é usual adotar como fator de segurança final a média entre o muro com e sem o contraforte. Assim os fatores de segurança final serão os seguintes:

- $Fs_{\text{Tombamento}} = 6,36$;
- $Fs_{\text{Deslizamento}} = 3,955$;
- Tensão na Base: 181,68 kN/m².

3.3 Muro dimensionado no Eberick

3.3.1 Muro de 4 metros

Fazendo-se o dimensionamento do muro de 4,00 metros de altura como proposto, nos moldes da NBR 6118/2014 de concreto armado.

Tabela 5. Características do solo

Características do solo	
Pressão admissível	280 kN/m ²
Coesão	210 kN/m ²
Ângulo de atrito interno	42 °
Peso específico do solo	18.65 kN/m ³
Peso específico submerso	9 kN/m ³
Coefficiente de recalque vertical	20000 kN/m ³
Tipo de solo	Coesivo

Tabela 6. Muro de 4 metros

Tombamento (kN.m/m)	Escorregamento (kN/m)	Cisalhamento (kN/m)	Deslocamento topo (m)	Pressão base (MPa)
Ms = 77.86	Fs = 45.91	Vsd = 54.26	Rot. base = 0.01 Elástico = 0.01 Imediato = 0.01 Diferido = 0.01 Total = 0.02	Máxima = 0.07 Mínima = 0.06
Mr = 335.96	Fr (passivo) = 38.1 Fr (dente) = 11.76 Fr (base) = 298.2 Fr = 348.06	Vrd = 147.24		
FS = 4.31 (mínimo: 1.5) Status: Ok	FS = 7.58 (mínimo: 1.5) Status: Ok	FS = 2.71 (mínimo: 1.0) Status: Ok	Limite = 2.93 Status: Ok	Admissível = 0.28 Status: Ok

Tabela 7. Muro de 4 metros

Altura	
Muro	4 m
Solo externo	4 m
Solo interno	0.5 m
Parede	
Largura topo	0.15 m
Largura base	0.29 m
Inclinação interna	1 °
Inclinação externa	1 °
Chanfro	0.15 m
Base	
Comprimento interno	0.85 m
Comprimento externo	1.7 m
Comprimento total	2.84 m
Altura maior	0.4 m
Altura menor	0.15 m
Dente	
Base	0.2 m
Altura	0.5 m

3.3.2 Muro de 8 metros

A tabela 8, 9 e 10 apresentam os resultados para o muro de 8 metros.

Tabela 8. Características do solo

Características do solo	
Pressão admissível	280 kN/m ²
Coesão	210 kN/m ²
Ângulo de atrito interno	42 °
Peso específico do solo	18.65 kN/m ³
Peso específico submerso	9 kN/m ³
Coefficiente de recalque vertical	20000 kN/m ³
Tipo de solo	Coesivo

Tabela 9. Muro de 8 metros

Tombamento (kN.m/m)	Escorregamento (kN/m)	Cisalhamento (kN/m)	Deslocamento topo (m)	Pressão base (MPa)
Ms = 566.95	Fs = 178.18	Vsd = 200.2	Rot. base = 0.04 Elástico = 0.01 Imediato = 0.01 Diferido = 0.01 Total = 0.05	Máxima = 0.14 Mínima = 0.13
Mr = 2631.41	Fr (passivo) = 105.84 Fr (dente) = 11.76 Fr (base) = 588 Fr = 705.6	Vrd = 370.26		
FS = 4.64 (mínimo: 1.5) Status: Ok	FS = 3.96 (mínimo: 1.5) Status: Ok	FS = 1.85 (mínimo: 1.0) Status: Ok	Limite = 6 Status: Ok	Admissível = 0.28 Status: Ok

Tabela 10. Muro de 8 metros

Altura	
Muro	8 m
Solo externo	8 m
Solo interno	0.5 m
Parede	
Largura topo	0.2 m
Largura base	0.9 m
Inclinação interna	3 °
Inclinação externa	2 °
Chanfro	0.15 m
Base	
Comprimento interno	1.55 m
Comprimento externo	3.15 m
Comprimento total	5.6 m
Altura maior	1 m
Altura menor	0.55 m
Dente	
Base	0.5 m
Altura	0.5 m

para taludes com altura de 4m, 8m e 12 metros, considerando a presença de lençol freático em todo o talude.

3.4.1 Solo reforçado com altura de 4 metros

A figura 4 apresenta a estabilidade global do solo reforçado com 4 metros e a figura 5 apresenta a estabilidade interna.

3.3.3 Muro de 12 metros

A tabela 11, 12 e 13 apresentam os resultados para o muro de 12 metros.

Tabela 11. Características do solo

Características do solo	
Pressão admissível	280 kN/m ²
Coesão	210 kN/m ²
Ângulo de atrito interno	42 °
Peso específico do solo	18.65 kN/m ³
Peso específico submerso	9 kN/m ³
Coefficiente de recalque vertical	20000 kN/m ²
Tipo de solo	Coesivo

Tabela 12. Muro de 12 metros

Tombamento (kN.m/m)	Escorregamento (kN/m)	Cisalhamento (kN/m)	Deslocamento topo (m)	Pressão base (MPa)
Ms = 1831.1	Fs = 382.04	Vsd = 409.17	Rot. base = 0.08 Elástico = 0.01 Imediato = 0.01 Diferido = 0.01 Total = 0.09	Máxima = 0.2 Mínima = 0.2
Mr = 9166	Fr (passivo) = 259.79 Fr (dente) = 11.76 Fr (base) = 886.2 Fr = 1157.75	Vrd = 780.1	Limite = 9.23 Status: Ok	Admissível = 0 Status: Ok
FS = 5.01 (mínimo: 1.5) Status: Ok	FS = 3.03 (mínimo: 1.5) Status: Ok	FS = 1.91 (mínimo: 1.0) Status: Ok		

Tabela 13. Muro de 12 metros

Altura	
Muro	12 m
Solo externo	12 m
Solo interno	0.5 m
Parede	
Largura topo	0.37 m
Largura base	1.84 m
Inclinação interna	7 °
Inclinação externa	0 °
Chanfro	0.15 m
Base	
Comprimento interno	2.2 m
Comprimento externo	4.4 m
Comprimento total	8.44 m
Altura maior	1.85 m
Altura menor	1.25 m
Dente	
Base	0.75 m
Altura	0.5 m

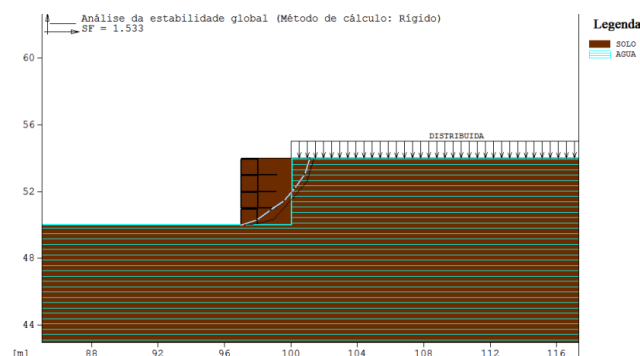


Figura 4. Estabilidade global solo reforçado 4 metros

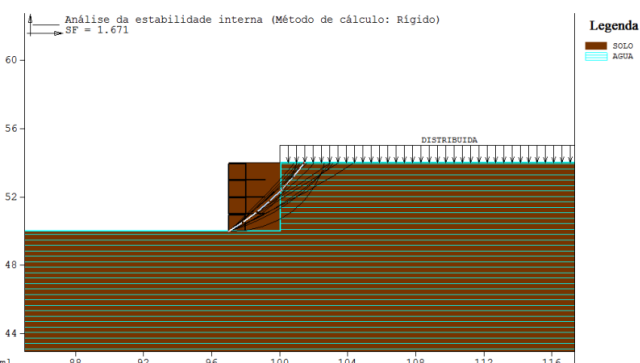


Figura 5. Estabilidade interna solo reforçado 4 metros

A figura 6 apresenta as verificações de Deslizamento e Tombamento da Estrutura de 4 metros no Macstars.

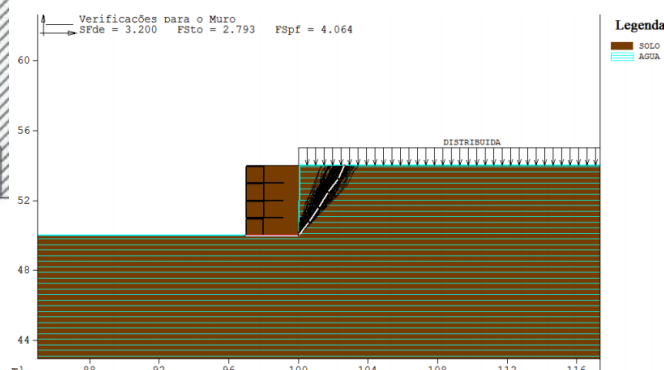


Figura 6. Verificações de Deslizamento e Tombamento da Estrutura de 4 metros no Macstars

3.4 Solo reforçado dimensionado no MacStars

Foi utilizado o software Macstars do Grupo Maccaferri, que permite fazer as análises de estabilidade tanto para taludes como para taludes reforçados. Foram realizadas análises

3.4.2 Solo reforçado com altura de 8 metros

A figura 7 apresenta a estabilidade global do solo reforçado com 8 metros e a figura 8 apresenta a estabilidade interna.

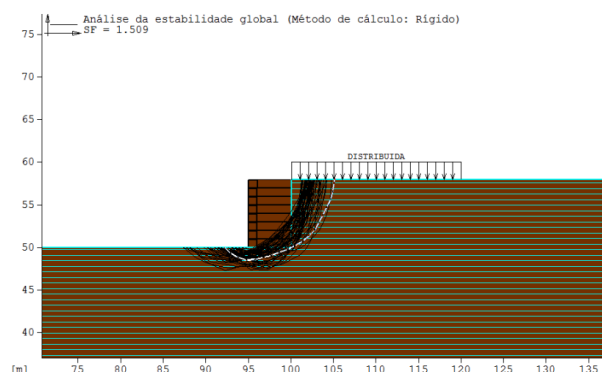


Figura 7. Estabilidade global solo reforçado 8 metros

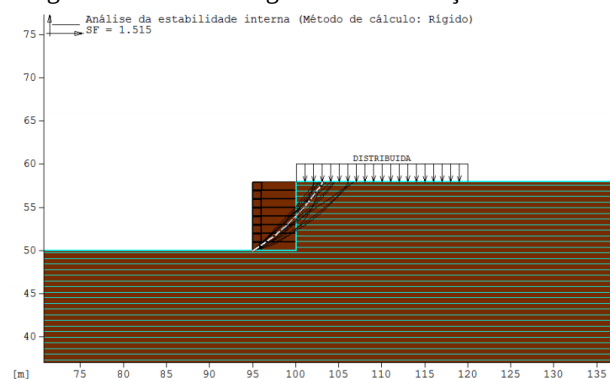


Figura 8. Estabilidade interna solo reforçado 8 metros

A figura 9 apresenta as verificações de Deslizamento e Tombamento da Estrutura de 8 metros no Macstars.

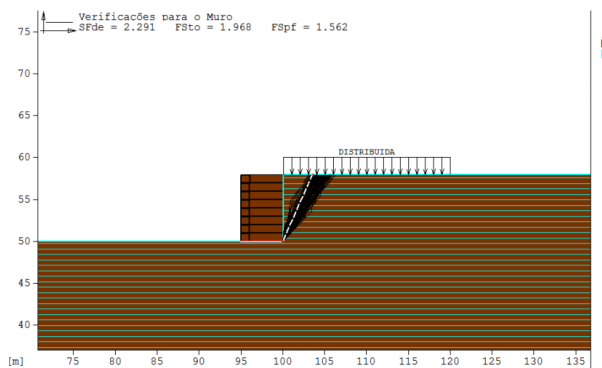


Figura 9. Verificações de Deslizamento e Tombamento da Estrutura de 8 metros no Macstars

3.4.3 Solo reforçado com altura de 12 metros

A figura 10 apresenta a estabilidade global do solo reforçado com 11 metros e a figura 13 apresenta a estabilidade interna.

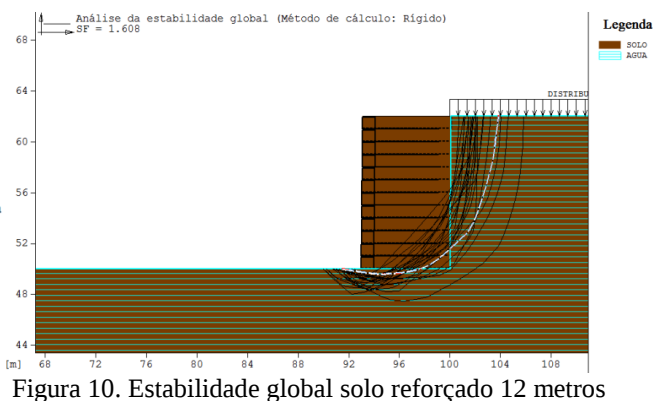


Figura 10. Estabilidade global solo reforçado 12 metros

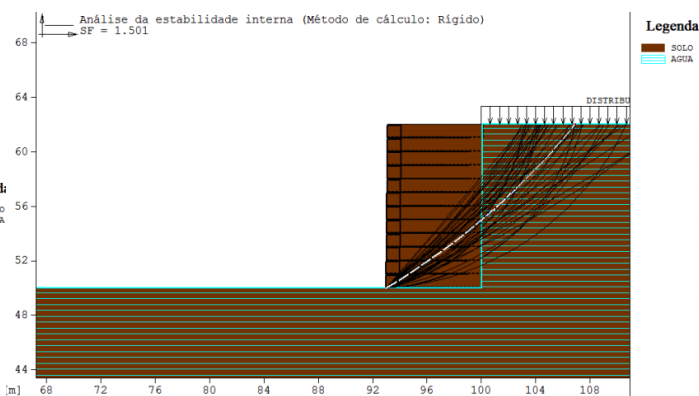


Figura 11. Estabilidade interna solo reforçado 12 metros

A figura 12 apresenta as verificações de deslizamento e Tombamento da Estrutura de 12 metros no Macstars.

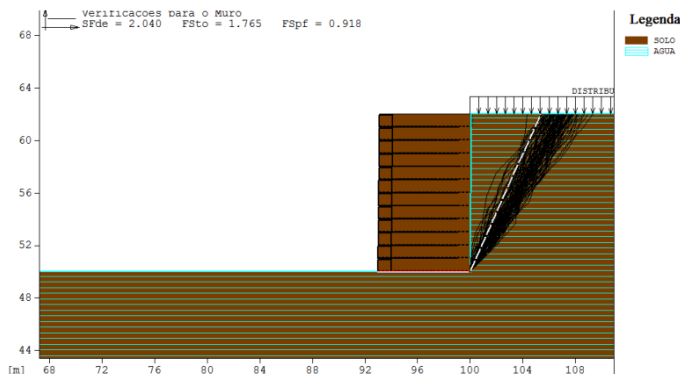


Figura 12. Verificações de Deslizamento e Tombamento da Estrutura de 12 metros no Macstars

4 CONCLUSÕES

Após a realização do trabalho, verificou-se que em relação ao muro de concreto armado em T invertido com contrafortes, verificou-se os fatores de segurança relativos ao tombamento deslizamento e tensão nas fundações. Todos os muros (4m, 8m e 12m) passaram nos cálculos com coeficientes bastante elevados, onde foi

aplicado uma sobrecarga uniforme de 10KN/m² para todo o terreno.

Utilizando o software Eberick V9, conseguiu-se reduzir as dimensões dos muros, dentro do fator de segurança mínimo e realizar o detalhamento das armaduras. Porém observou-se que para o muro de 12 metros, as dimensões foram muito elevadas, tornando o muro muito oneroso e provavelmente gerando a necessidade de estaquear o muro. O muro no formato T invertido, através da bibliografia existente, é recomendável para altura de até 8 metros, onde o mesmo assume valores de base em torno de 2/3 da altura. Outro aspecto relevante dos muros de concreto armado foi em relação a drenagem, sendo inconcebível dimensionar um muro de concreto armado sem drenagem.

Em relação a estrutura de contenção com solo reforçado com geossintéticos do tipo geogrelhas, observou-se que a mesma é bastante flexível, que permite taludes praticamente verticalizados. Um ponto bastante relevante deste tipo de estrutura e a utilização do solo como elemento de reforço. Na análise do solo reforçado, além do tombamento, deslizamento, tensões na base e ruptura global também é analisada a ruptura interna da estrutura. Conclui-se então que o presente trabalho foi significativo na comparação de dois sistemas de estabilização de taludes e visa contribuir com futuras pesquisas.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 6120 Projeto e Execução de Fundações. 2010.
Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 6502. Análise Granulométrica – Rochas e Solos. 1995
Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 8508. Determinação de grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica, 1984.
Caputo, H.P. Mecânica dos solos e suas aplicações: fundamentos. 6.ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1988.
Ehrlich, M e Becker, L. Muros e Taludes de Solo Reforçados: projetos e execução. 2009. 126 p. Oficina de Textos (Coleção Huesker: engenharia com geossintéticos.). São Paulo, 2009.
Ehrlich, M.; Mitchell, J. K. *Working stress design method for reinforced soil walls. Journal of*

Geotechnical Engineering, ASCE, Reston, Virginia, v. 120, n. 4. (1994).
Freire, E. S. M., Movimentos coletivos de solos e rochas e sua moderna sistemática. Revista Construção. Rio de Janeiro. V. 8, nº. 95, (1965).
Guidicini, G.; Nieble, C. M. Estabilidade de taludes naturais e de Escavação. 2º Edição. São Paulo. Edgard Blücher, 1984.
Gaioto, Nélcio. Estabilidade de Taludes. Textos publicados por Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, publicação 075/92, 1979.
Gerscovich, D. M. S. Estabilidade de Taludes. – Notas de Aulas - Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (2009). Disponível em <<http://www.eng.uerj.br/~denise/pdf/estabilidade.pdf>> . Acesso em 26/ de Out, 2014
Holanda JR, O.G. Interação solo-estrutura para edifícios de concreto armado sobre fundações diretas. Dissertação de mestrado da EESC da USP. São Carlos – SP, 1998.
Infanti JR., N.; Fornasari Filho, F., Processos de Dinâmica Superficial, Geologia de Engenharia, Oliveira, A. M. S. e Brito, S. N. A., Ed. Oficina de Textos, São Paulo, Brasil, 1998.
MACCAFERRI. Manual técnico de reforço de solos. Disponível em: <www.maccaferri.com.br> Acesso em: 22 de Set, 2014.
Moliterno, A. Caderno de Muros de Arrimo. Ed. 2. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.
Massad, F. Obras de Terra: Curso Básico de Geotecnia. São Paulo: Oficina de Textos, 2003.
Pinto, C.S. “Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas”. São Paulo, Oficina de Textos. (2000).
Queiroz, R. C. Geologia e geotecnia básica para a engenharia civil, 2009.
Souza Junior, J. D. O Efeito da Energia de Compactação em Propriedades dos Solos Utilizados na Pavimentação do Estado do Ceará. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia do Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2005
Terzaghi, K. “*Mechanism of Landslides*”. *Geological Society of América. Engineering geology. Berkeley. No. 488*, November, 83-123pp. Harvard soil mechanics series, 36. Instituto de pesquisas tecnológicas, São Paulo. Separata, 467, 1953.
Terzaghi, K. Mecanismos de escorregamentos de terra. Trad. de Ernesto Pichler. São Paulo: Grêmio Politécnico, 1950.