

## ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO DE SOLO REFORÇADO: COMO SE COMPORTA A TRAÇÃO NO REFORÇO

Soil retaining structures strengthened: how to behave pull in strengthening

Dayanne Severiano Meneguete\*

Naycou Giovani de Paula Salgado\*\*

*Artigo recebido e aprovado em maio de 2016*

**Resumo:** Das grandes obras que a Engenharia Civil projeta e executa, encontram-se as estruturas de contenções. Estas estruturas tem por objetivo fazer a contenção, muitas vezes de solo, para garantir a segurança e estabilidade do local. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é realizar a automatização de um método analítico fechado para o dimensionamento de estruturas de contenção de solo reforçado, propostos por Dantas e Ehrlich. No geral serão feitas as comparações entre parâmetros que influenciam o comportamento dessas estruturas. Os parâmetros analisados serão inclinação do talude, coesão do solo de aterro e compactação no solo. Além disso, serão analisados o comportamento de dois tipos de materiais que podem ser utilizados como reforço do solo, sendo estes, reforço metálico e reforço geossintético. Dessa forma, verificou-se quais são os elementos que elevam a tração no solo.

**Palavras-chave:** Estruturas. Contenção. Solo. Reforço.

**Abstract:** The great works that the Civil Engineering design and implement, are the containments structures. These structures aims to make the containment, often ground to ensure the safety and stability of the site. Thus, the objective of this work is the automation of the analytical method closed for the design of reinforced soil retaining structures proposed by Dantas and Ehrlich. Overall comparisons between parameters that influence the behavior of these structures will be made. The parameters analyzed are inclination of the slope, landfill soil cohesion and soil compaction. Furthermore, two types of behavior are considered materials that can be used as a soil reinforcement, the latter being metallic reinforcement and reinforcement geosynthetics. Thus, it was what are the elements that increase traction on the ground.

**Keywords:** Structures. Contention. Solo. Strengthened.

\* Mestranda em Geotecnia (UFES), Engenheira Civil (UFES) e Coordenadora e Docente em Engenharia Civil (FASB).

E-mail: daysmeneguete@gmail.com

\*\* Pós-Graduando em Docência Superior (ECOLE), Engenheiro Civil (UFES) e Perito em Engenharia (IBAPE-ES). E-mail: naycou@gmail.com

## Introdução

A cada ano que passa a Engenharia Civil evolui e cresce. Isso pode ser visto a partir das construções que acontecem em todo o mundo, como grandes edifícios que antes não eram possíveis, pontes gigantescas ou obras de contenção utilizadas para impedir deslocamento de grande volume de solo, por exemplo. No âmbito de obras de contenção, a história mostra que problemas com a contenção de encostas ou problemas com deslizamento de terra são frequentes, como por exemplo a tragédia que aconteceu no Estado do Rio de Janeiro em 2013, até então considerada a maior tragédia natural já ocorrida no Brasil.

As estruturas de contenções são divididas por alguns estudiosos em categorias como, as obras de contenção de gravidade, as engastadas no solo, as atirantadas, etc. Em todos os casos, o procedimento clássico para a análise da estabilidade da estrutura de contenção, consistem em obter-se fatores de segurança satisfatórios, que para este caso são da ordem de 1,5. O que cabe ressaltar é que independentemente do tipo de estrutura de contenção que será construída, o principal elemento que irá influenciar no dimensionamento da estrutura é o solo, mas este possui vários parâmetros que podem influenciar no seu comportamento, como o ângulo de atrito efetivo, a coesão, a resistência ao cisalhamento, permeabilidade, grau de compactação, etc.

Isso deixa claro que a construção de obras de contenção para garantir a segurança da população se faz de suma importância, já que muitas das vezes os problemas relacionados a ruptura do solo são causados a partir de fenômenos naturais como a chuva, e ainda podem ser agravados pela ocupação irregular do solo.

Dessa forma, é possível entender o porquê realizar a análise da estabilidade das condições do solo. Uma vez feita esta análise é possível realizar construções de forma segura, ou seja, impedir que o dimensionamento das obras de contenção aconteçam de forma errônea, pois um erro poderia comprometer as condições da estrutura. É importante lembrar que sinistros podem ocorrer, e em situações de uma estrutura mal dimensionada ser construída, uma grande catástrofe pode acompanhá-la, de forma a provocar grandes tragédias. Logo, para auxiliar a prevenir esses efeitos do solo é importante entender como os parâmetros que o constitui influenciam em seu comportamento. Dessa forma, o objetivo deste estudo é entender melhor os efeitos que estes parâmetros quando modificados influenciam no comportamento do solo. Esse processo auxiliará na escolha da melhor solução para problemas que envolvam a instabilidade de taludes.

Para atingir o objetivo proposto, a metodologia adotada será fundamentada em uma pesquisa de caráter bibliográfico e explicativo. Bibliográfico porque se baseia em estudos já realizados por autores sobre a temática, neste caso o trabalho utilizado como base para o estudo foi publicado por Dantas e Ehrlich, em 2000. E de caráter explicativo, pois visa explicar a razão da ocorrência de um determinado evento, que no caso é a variação do comportamento do reforço em estruturas de contenção devido mudanças nos parâmetros do solo.

## Revisão de Literatura

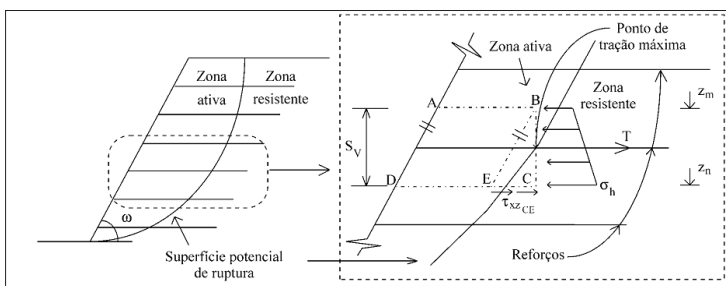
Com o acelerado e desordenado crescimento das cidades, a Engenharia Civil se depara cada vez mais com problemas geotécnicos impostos pelo solo onde se localizam. Assim, a necessidade de se construir em locais antes considerados impróprios é mais frequente, tornando o espaço um item básico em seus processos. Isso posto, a composição do solo em que se localizará a obra interfere diretamente nos métodos construtivos a serem adotados e, até mesmo, na viabilidade do projeto. Cabe então à Engenharia Civil desenvolver novos métodos para tornar possível a construção nestes locais.

Embora as estruturas de contenção sejam utilizadas há muitos anos, vários problemas continuam a ocorrer na prática. Muitas vezes por causa dos requisitos de especificação irrelevantes ou infundadas, especialmente com respeito aos parâmetros do solo, que influenciam diretamente na tensão efetiva do solo, que caracterizará sua resistência ao cisalhamento.

Ehrlich e Becker (2009, p. 19), definem estruturas de contenção como “[...] elementos indispensáveis de uma grande variedade de obras e projetos de engenharia, como pontes, rodovias, píeres, atracadouros, ferrovias [...]”, onde sua função é suportar o empuxo de terra, conferindo segurança a um talude, permitindo assim, o uso do espaço à sua frente ou do seu terraplano superior. Estas estruturas devem ser dimensionadas de modo a suportar as cargas que possam ser aplicadas, e dessa forma garantir a segurança e estabilidade da estrutura. Existem vários métodos para o cálculo do esforço de tração em dos reforços em estruturas de contenção. No geral, os reforços aplicados as estruturas de contenção tem o objetivo de melhorar as características mecânicas do solo.

Dentre os métodos existentes para o dimensionamento de estruturas de contenção de solo reforçado destaca-se o método proposto por Dantas e Ehrlich, utilizado como caso base neste trabalho. Entre os outros métodos utilizados, tem-se como principais destaques o de Henri Vidal, Elias et al. (2001) e Leshchinsky e Boedeker. O método de Dantas e Ehrlich (2000), “trata-se de um procedimento analítico desenvolvido sob forma de equações fechadas, que permite levar em consideração explicitamente a influência da compactação do solo e da rigidez relativa solo reforço” (Figura 1).

**Figura 1:** Equilíbrio Interno de uma Estrutura de Solo Reforçado de Inclinação Qualquer



Fonte: Dantas, Ehrlich (2000, p. 22)

O cálculo da tração no reforço proposto por Dantas e Ehrlich, (2000), utilizado neste trabalho como base, está descrito na equação 1, onde  $T$  = tração máxima no reforço;  $\tau_{xz\ EC}$  é a tensão de cisalhante no solo atuante ao longo de EC,  $(\sigma_h)_{méd}$  será a tensão horizontal média no solo entre  $z_m$  e  $z_n$  atuando no plano vertical normal ao reforço no ponto de tração máxima.

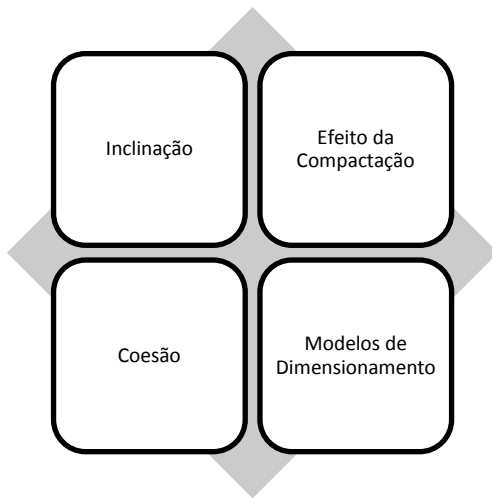
$$T - S_v \cdot S_h \cdot (\sigma_h)_{méd} + EC \cdot S_h \cdot \tau_{szEC} = 0 \quad \text{Equação 1}$$

Juntamente com as demais equações propostas por Dantas e Ehrlich, (2000), é possível verificar qual o valor de tração nos reforços utilizados em estruturas de contenção de solo reforçado e assim verificar a estabilidade da estrutura.

## Materiais e Métodos

Para a análise comparativa entre os métodos e parâmetros foi necessário determinar o Caso Base, que basicamente serão valores adotados como característico do solo, e que serão fundamentais para se comparar com os demais que foram obtidos com a variação dos parâmetros (Figura 2).

**Figura 2:** Parâmetros Variados em Estruturas de Contenção de Solo Reforçado



Fonte: Dados primários da pesquisa (2015)

O caso base, traz os valores que devem ser adotados como característica do Talude estudado como a altura e largura da obra de contenção, a inclinação do talude, os parâmetros do solo de enchimento (aterro), além dos parâmetros dos reforços que serão utilizados, que

poderão ser metálicos ou geossintéticos. O denominado como “Caso Base”, é feito com base na formulação desenvolvida por (DANTAS; EHRLICH, 2000). Os parâmetros utilizados como base estão lançados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros do Caso Base

<b>Geometria do Muro</b>	
Altura do Muro	10 metros
Largura da Base	8 metros
Espaçamento Vertical	1 metros
Espaçamento Horizontal	1 metros
Inclinação do Talude	90° (Graus)
<b>Parâmetros do Solo de Enchimento</b>	
Peso Específico	20 kN/m <sup>3</sup> (Kilonewton por metro cúbico)
Ângulo de Atrito	25° (Graus)
Intercepto Coesivo	0,00 kN/m <sup>2</sup> (Kilonewton por metro quadrado)
Módulo Tangente Inicial	460 (Adimensional)
Módulo Expoente	0,50 (Adimensional)
Resistência	0,80 MN/m <sup>2</sup> (Meganewton por metro quadrado)
<b>Parâmetros do Reforço Metálico</b>	
Largura	50 mm (Milímetros)
Espessura	4 mm (Milímetros)
Módulo de Elasticidade	210.000.000 MN/m <sup>2</sup> (Meganewton por metro quadrado)
Resistência	450 Mpa (Megapascal)
<b>Parâmetro do Reforço Geossintético</b>	
Módulo de Elasticidade	800 kN/m (Kilonewton por metro)
Resistência	46 kN/m (Kilonewton por metro)
<b>Parâmetros do Rolo Compactador</b>	
Tipo de Equipamento	Rolo, Dynapac – CA25
Carga do Rolo (Q)	160 kN (Kilonewton)
Largura do Rolo (L)	2,10 metros

Fonte: Dados primários da pesquisa (2015)

Diante disso, para a confecção dos testes neste trabalho, foram estudados diversos métodos para análise do comportamento dessas estruturas. Tanto pelo método do equilíbrio limite, quanto pelo método de condição de trabalho. Na sequência foram desenvolvidas planilhas para facilitar e automatizar o comportamento das estruturas com a variação de alguns parâmetros, para entender melhor como isso influenciará no comportamento do solo.

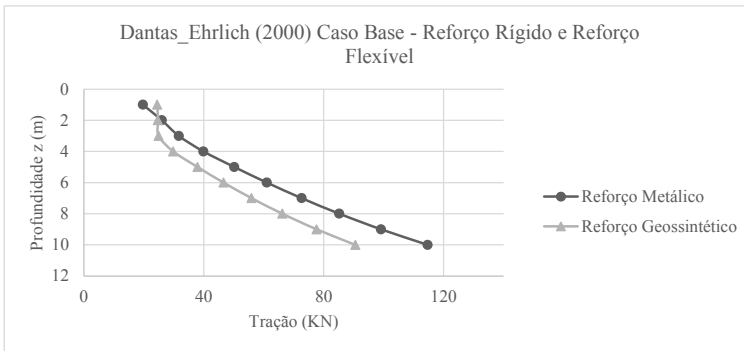
De posse das planilhas foram feitos comparativos das diversas situações, que influenciam uma estrutura de contenção. Essas comparações têm sempre uma variável diferente, como a inclinação do talude, o tipo de material utilizado, variação na coesão ou não e até comparação do caso base, calculado pelo método de Dantas e Ehrlich.

É importante ressaltar que o método proposto por (Dantas e Ehrlich 2000), método utilizado como caso base, é feito para um talude vertical. No caso do cálculo da tração aplicada no reforço, esse método utiliza de um fator

de correção  $f$ , que varia com a inclinação do talude. Nota-se que para inclinações onde  $\omega > 70^\circ$ , esse fator se torna constante, igual a 2,00.

O Gráfico 1, apresenta o comportamento da tração ao longo da profundidade, de um material metálico ao longo da profundidade, e de uma geogrelha, que seria o geossintético.

**Gráfico 1:** Caso Base



Fonte: Dados primários da pesquisa (2015)

É possível notar uma leve diferença no comportamento gráfico das duas curvas, o material geossintético tem uma certa linearidade nas profundidades iniciais, ao contrário do reforço metálico, conforme Tabela 2.

**Tabela 2:** Tração Caso Base - Variação no Reforço

Profundidade z - metros	Tração (kN)	
	Reforço Metálico	Reforço Geogrelha
1	19,68	24,49
2	25,99	24,71
3	31,65	24,93
4	39,88	29,79
5	50,18	37,91
6	61,03	46,57
7	72,62	55,93
8	85,21	66,19
9	99,11	77,62
10	114,70	90,56

Fonte: Dados primários da pesquisa (2015)

Além disso, o valor da sollicitação da tração no reforço geossintético é menor, que no reforço metálico, isso se deve pelo fato de que o reforço metálico é um reforço rígido e não permitirá grandes deformações.

A partir dos dados definidos e obtidos do denominado caso base, serão feitas as alterações em três parâmetros diferentes, que serão a coesão do solo, a inclinação do talude e o grau de compactação, para assim verificar em qual intensidade esses parâmetros poderão influenciar na sollicitação do reforço.

## Resultado e Discussão

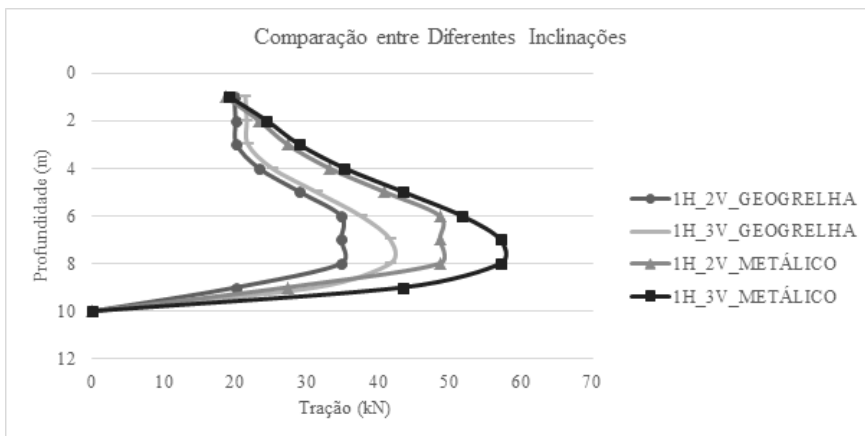
A partir da construção de planilhas que utilizaram os métodos para o cálculo das solicitações em reforços foi possível obter os gráficos que serão apresentados neste capítulo e dessa forma verificar a influência de cada parâmetro nas estruturas de contenção de solo reforçado.

### Variação da Inclinação do Talude

O primeiro parâmetro diferenciado para analisar o comportamento das estruturas foi a inclinação do talude. As inclinações adotadas para comparação foram a de talude vertical (caso base), 1H:2V (1 metro na horizontal para cada 2 metros na vertical) e 1H:3V (1 metro na horizontal para cada 3 metros na vertical).

São apresentados em um mesmo gráfico os resultados para todas as inclinações. Sendo que o Gráfico 2, para reforços com material rígido (metálicos) e para reforço com material flexível (geogrelhas).

**Gráfico 2:** Resultados da Variação de Inclinação do Talude



Fonte: Dados primários da pesquisa (2015)

Logo, pode-se verificar que a quanto mais suave for a inclinação do talude, menor será a solicitação de tração no reforço. Outro fator importante é que, independente da inclinação do talude, o reforço geossintético mantém o comportamento linear nas profundidades iniciais.

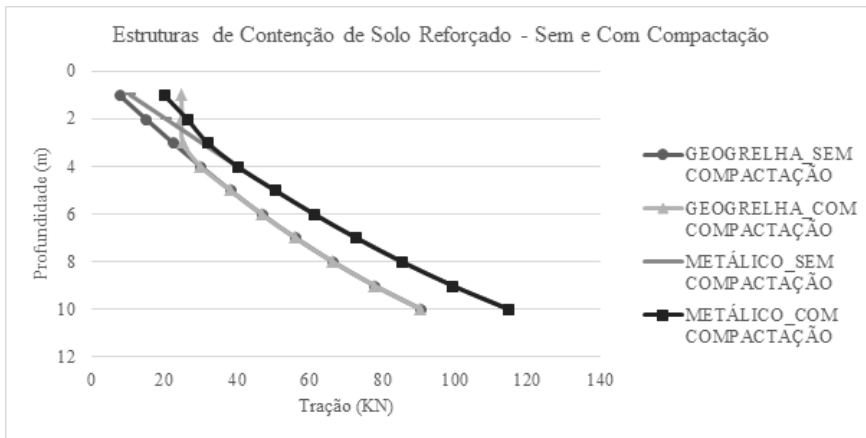
Outra comparação importante de ser feita, é que o comportamento da curva para taludes não verticais, no método de Dantas e Ehrlich, apresenta uma espécie de “embarrigamento”, (Gráfico 2). Já a curva para taludes verticais, tem um formato mais linear, como pode ser verificado no Gráfico 1, Caso Base – Talude Vertical.

## Efeito da Compactação

De acordo com (Dantas, 2004), a compactação do solo é uma das etapas do processo construtivo normal das estruturas de contenção de solo reforçado, procedimento usual em obras de terra. Dentre as principais justificativas para a sua utilização, destacam-se a melhoria das propriedades mecânicas do solo e a otimização do volume da estrutura, uma vez que a densidade do material é majorada.

Diante disso, foram feitas simulações para taludes que passaram por um processo de compactação e taludes sem esse efeito. O Gráfico 3 apresenta o comportamento da tração ao longo da profundidade para taludes sem compactação e para taludes com compactação.

Gráfico 3: Efeito da Compactação



Fonte: Dados primários da pesquisa (2015)

Segundo Dantas e Ehrlich (2000), o processo construtivo de estruturas de solo reforçado envolve o lançamento e compactação de camadas sucessivas de solo até atingir a altura final prevista. Desta forma, não apenas as tensões geostáticas, mas também as tensões induzidas pela compactação devem ser consideradas no cálculo das deformações da estrutura.

Diante disso, pode-se notar que para a situação onde o solo sofre um processo de compactação, principalmente em estruturas de contenção de solo reforçado, com certa inclinação, que esses valores majoram os valores das máximas solicitações no reforço.

Para a situação proposta, ou seja, talude vertical, esse efeito é notado até uma certa profundidade. Daí em diante, o que prevalece é o peso próprio da estrutura, e as curvas com e sem compactação se igualam novamente.

Logo, o que pode ser verificado sobre o efeito da compactação sobre estruturas de contenção de solo reforçado é que para reforços rígidos e flexíveis o efeito da compactação não influencia grandes profundidades, tendo assim o



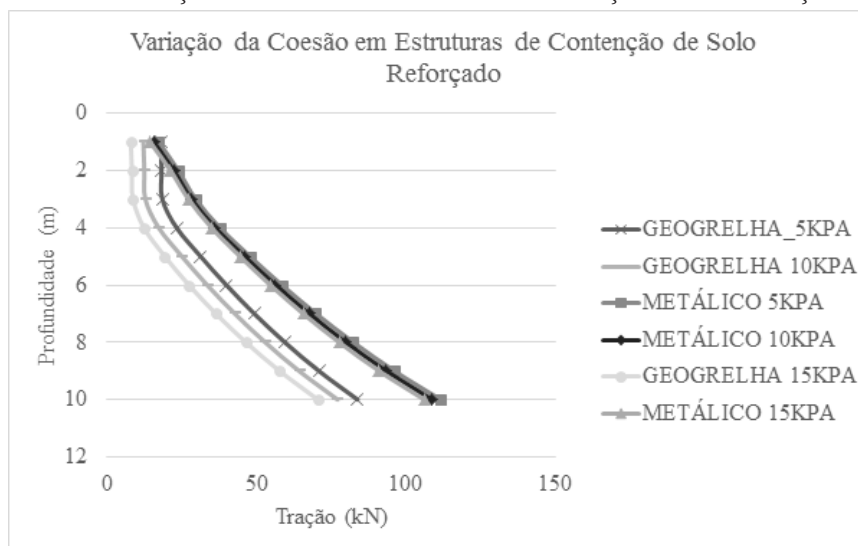
encontro das curvas. Uma diferenciação é que a não compactação em materiais flexíveis faz com que não aconteça a linearidade da tração nas profundidades iniciais.

## Efeito da Coesão do Solo

A análise do efeito da coesão do solo, em estruturas de solo reforçado se faz necessário, visto que essa propriedade melhora as características do solo. De acordo com Dantas (2004), os solos utilizados em estruturas de contenção de solo reforçado, comumente apresentam ângulo de atrito elevado, mas em vista da sucção apresentam, também uma elevada coesão aparente, que favorece o equilíbrio da obra.

Diante disso, nesse tópico são apresentados a comparação entre estruturas de mesma características, onde apenas a coesão do material vai variar. O caso base, apresenta coesão equivalente a zero, já as demais simulações utilizam valores de coesão de 5, 10 e 15 KPa. O Gráfico 4, mostra o comportamento para uma estruturas com reforços metálicos e o comportamento da tração quando o reforço é a geogrelha.

**Gráfico 4:** Variação da Coesão em Estruturas de Contenção de Solo Reforçado



Fonte: Dados primários da pesquisa (2015)

Segundo Dantas e Ehrlich (2000), o efeito da coesão do solo, reduz a máxima tração no reforço. Isso, também se comprova nos resultados obtidos neste trabalho. Se observado os valores obtidos nos Gráficos 4, que apresenta a variação na coesão para um mesmo reforço, nota-se que quando maior o valor da coesão no solo, menor é a máxima tração no reforço. Esse resultado é mais perceptível para materiais flexíveis.

## Conclusão

Com base nas análises feitas neste trabalho é possível notar que parâmetros como geometria, rigidez do reforço, coesão e compactação do solo, influenciam no equilíbrio e solicitações de tração de estruturas de contenção de solo reforçado.

No geral, nota-se que, quanto mais rígido o reforço, maior é o esforço de tração, como verificado nas simulações apresentadas. Sobre a compactação, a estrutura de contenção de solo reforçado que passa pelo processo de compactação também apresenta um maior esforço de tração.

Já, a coesão, nos fornece um resultado contrário. Quanto maior a coesão no solo, menor é o esforço de tração no reforço. Esse resultado é mais expressivo em reforços flexíveis, muito em função do contato solo/reforço.

Sobre a inclinação, quanto mais abatido o talude, menores são os esforços de tração. Vale ressaltar uma diferença entre os resultados de máxima tração mudam para talude vertical e taludes com inclinações diferentes. Em taludes verticais, o ponto de máxima tração ocorre na base, e nos outros com inclinação diferentes, os resultados ocorrem em camadas logo acima da base, sendo que na base, a tração tende a zero, neste caso.

É possível notar a importância da consideração da compactação e da rigidez relativa solo-reforço na análise e projeto deste tipo de estrutura, já que a escolha de um bom reforço, associada a uma compactação podem levar a solicitações menores, e com isso aumentar a segurança das estruturas, e em alguns casos, gera até uma economia, no momento de concepção da obra.

## Referências

DANTAS, B. T. *Análise do comportamento de estruturas de solo reforçado sob condições de trabalho*. UFRJ. Rio de Janeiro, p. 30. 2004.

\_\_\_\_\_; EHRLICH, M. *Método de análise de taludes reforçados sob condições de trabalho*. São Paulo. 2000.

EHRLICH, M.; BECKER, L. *Muros e taludes de solo reforçado, projeto e execução*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.