

Análise do Comportamento Tensão-Deformação de Cortinas Atirantadas

Kamila Fernanda da Silva

NUGEO/UFOP, Ouro Preto/MG, Brasil, kamilafernandasilva@hotmail.com

Romero César Gomes

NUGEO/UFOP, Ouro Preto/MG, Brasil, romero@em.ufop.br

RESUMO: As estruturas em cortina atirantada amplamente utilizada em obras geotécnicas de estabilização de taludes e escavações de subsolos, está em pleno avanço nos estudos do comportamento da estrutura pela utilização de programas computacionais. Desta forma, este estudo avaliará a influência da rigidez do paramento face e a variação da inclinação dos tirantes no comportamento e estabilidade da estrutura de contenção em cortina atirantada com estacas espaçadas, utilizando o sistema computacional GEOSTUDIO 2007, módulos SLOPE/W e SIGMA/W, nos quais serão empregados o método de estabilidade em equilíbrio-limite, Morgenstern & Price, e análise numérica, elementos finitos, respectivamente. As análises foram desenvolvidas adotando-se uma seção hipotética padrão em corte vertical no terreno com altura variando em três patamares, a saber: 6,0m, 8,0m e 12,0m. No topo do talude escavado o terreno é horizontal, sendo constituído de apenas um solo homogêneo e isotrópico, com parâmetros de resistência obtidos por meio de correlações com N(SPT) do solo referente ao ensaio SPT (Standart Penetration Test). A influência da rigidez dos paramentos sobre a estrutura foi contemplada pela variação nos taludes das espessuras dos elementos que simulam os paramentos e a influência da inclinação dos tirantes foi verificada variando as inclinações dos tirantes entre 10° e 40° em relação a horizontal para o caso do talude de 8,0m de altura. Além disso, foi avaliado o modelo construtivo da estrutura e sua influência no comportamento tensão-deformação dos materiais envolvidos. Assim, de acordo com o estudo em questão, o paramento possui função estrutural para suportar as solicitações dos tirantes e ao mesmo tempo trabalha como elemento de estabilização do solo superficial, susceptível à erosão e movimentação após o desconfinamento. A face mais rígida diminui os deslocamentos e a plastificação do solo, contudo, o aumento da rigidez promove o aumento dos momentos atuantes no paramento. Conclui-se que quanto maior a rigidez do paramento de face maior a geração de esforços sobre o paramento e menor os deslocamentos de face.

PALAVRAS-CHAVE: Cortina Atirantada, Tensão-deformação, Rigidez, Modelagem Numérica, Deslocamentos de Face.

1 INTRODUÇÃO

A necessidade da execução de escavações urbanas cada vez mais profundas e o crescimento da implementação de obras de contenção e estabilização de áreas que sofreram intervenções antrópicas, tem agregado aos engenheiros geotécnicos o grande desafio de

compensar elevadas solicitações com um mínimo de deslocamentos de maciços cada vez mais verticalizados.

A preocupação não está relacionada apenas com a garantia da estabilização de uma determinada área, mas também com o uso e ocupação eficiente do meio devido a consequente valorização das áreas urbanas.

Deste modo, faz-se necessário o desenvolvimento de tecnologias que tornem viável e segura a ocupação e a exploração de áreas que inviabilizam as movimentações de massas. Com esse intuito foi desenvolvida por engenheiros civis ao redor do mundo a técnica de paredes ou cortinas atirantadas justificada pela sua praticidade, rapidez de execução, segurança, pequenas deformações, melhor aproveitamento do espaço com soluções verticalizadas e de grandes dimensões.

O método de estabilização por ancoragens baseia-se na inserção de tirantes no solo por meio de cravação ou injeção que são incorporados aos paramentos de face por meio da aplicação da protensão. O atirantamento é normalmente realizado, à medida que se realiza a escavação, por meio de ancoragens instaladas no maciço de solo, em furos contendo no seu interior um elemento estrutural resistente a esforços de tração (tirante), um tubo com válvulas para injeção da calda de cimento sob pressão para execução, em uma ou várias fases sucessivas, do bulbo de ancoragem (More, 2003). As cortinas podem ser ancoradas ou até mesmo apoiadas em outras estruturas devido a sua capacidade de garantir pequena deslocabilidade (Yassuda e Dias, 1996).

Cada ancoragem é constituída pela cabeça, pelo comprimento livre e de ancoragem, sendo a sua capacidade de carga é condicionada pela preservação da resistência intrínseca de cada um de seus componentes e pelas reações mobilizadas no terreno ao longo do comprimento de ancoragem (Carvalho, 2009).

Desta forma, o trabalho em questão tem por objetivo, realizar um estudo paramétrico por meio de simulações numéricas bidimensionais baseadas no método dos elementos finitos, que visa analisar a influência de determinadas variáveis sobre os deslocamentos horizontais, os esforços internos que atuam na parede de contenção e no solo contido. Os parâmetros selecionados para análise são: a espessura da parede de contenção, altura do talude e a inclinação dos tirantes.

Para tanto, será utilizado o sistema computacional GeoStudio 2007, módulo SLOPE/W, no qual serão realizadas as análises de estabilidade por Equilíbrio Limite, e no

módulo SIGMA/W o estudo de tensão-deformação, para contemplar as análises de deslocamentos das faces e momento fletor, com a finalidade de determinar a influência da altura do corte vertical do talude em relação à rigidez da face, a inclinação dos tirantes e o método construtivo.

Enfim, a utilização de sistemas computacionais tornou-se ferramenta indispensável no desenvolvimento e otimização de projetos de engenharia em geral, devido a eficiência e praticidade que esses mecanismos proporcionam ao projetista. Dentro dessa temática, o presente trabalho se justifica pela aproximação entre a teoria desenvolvida nas disciplinas ministradas na academia com a prática aplicada tradicionalmente em escritórios de engenharia.

2 ESTRUTURA ESTRATÉGICA

Os estudos foram realizados por meio de modelagens numéricas efetuadas com o auxílio do programa GeoStudio 2007, utilizando os módulos SIGMA/W e SLOPE/W. As análises foram desenvolvidas adotando-se uma seção hipotética padrão em corte vertical no terreno com altura variando em três patamares, a saber: 6m, 8m e 12m. No topo do talude escavado o terreno é horizontal, sendo constituído de apenas um solo homogêneo e isotrópico, caracterizado por silte arenoso (solo residual) com N(SPT) médio igual a 11 e seus parâmetros de resistência determinados por meio de correlações. A Tabela 1 apresenta os dados geotécnicos do solo adotado nos estudos.

Tabela 1: Parâmetros geotécnicos do solo.

Descrição	Símb.	Unidade	Valor
Ângulo de Atrito Efetivo	ϕ'	° (graus)	30
Coesão Efetiva	c'	kPa	25
Módulo de Elasticidade	E	MPa	15
Coefficiente de Poisson	ν	adm	0,33
Peso Específico	γ	kN/m ³	19

Para determinar a influência da rigidez do paramento em função da altura da escavação foram pré-estabelecidos modelos de corte vertical (talude tipo representado na Figura 1)

com altura variando em três patamares (6, 8 e 12 metros).

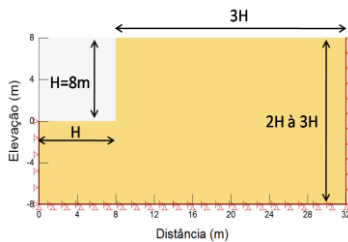


Figura 1: Talude tipo com altura de escavação de 8,0m.

Os modelos possuem a extensão em profundidade igual a 3 vezes a altura vertical evitando interferências com as extremidades.

A influência da rigidez dos paramentos sobre a estrutura foi contemplada pela variação da espessura do elemento que simula o paramento. A variação da rigidez foi realizada a partir da modelagem de elementos de viga com rigidez representativa do paramento com as seguintes condições: 0,20m; 0,30m; 0,40m e 0,50m. Já a influência da inclinação dos tirantes foi estudada em relação ao talude tipo de 8,0m variando em ângulos de 10°, 20°, 30° e 40°.

3 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DE CONTENÇÃO

O entendimento do comportamento de uma contenção em cortina atirantada garante ao projetista a previsibilidade e o controle das variáveis presentes na concepção desta contenção. Deste modo, frente a complexidade da estrutura e a possibilidade de interferências nos estudos de tensão-deformação, foi realizado um pré-dimensionamento da contenção com o principal interesse de garantir a sua segurança no equilíbrio limite. Desta forma, padronizou-se os espaçamentos verticais e horizontais dos tirantes igual a 2,0m de altura.

Inicialmente, para o dimensionamento da estrutura de contenção observou-se alguns critérios determinados pela NBR 5629:2006 - Execução de tirantes ancorados no terreno (ABNT, 2006), tais como: o comprimento livre não deve ser inferior a 3,0 m e o recobrimento de terra mínimo sobre o bulbo de ancoragem, d_s , deve ter cerca de 5,0 m sobre o centro do

bulbo de ancoragem como indicado na Figura 2.

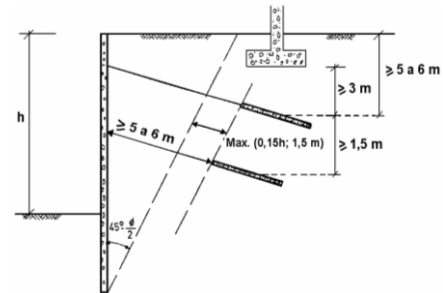


Figura 2: Critérios de projeto para dimensionamento de cortinas ancoradas (Fernandes, 1983 apud Mendes, 2010)

Após a estimativa dos comprimentos dos tirantes e sua inclinação, foi realizada a verificação da capacidade de cargas limite de ancoragens de acordo utilizando as formulações da NBR 5629:2006 (Equação 1).

$$T_L = \sigma'_z \cdot U \cdot L_b \cdot k_f \quad (1)$$

Onde: T_L é a capacidade de carga do trecho ancorado (kN); σ'_z é a tensão vertical efetiva no ponto médio da ancoragem (kPa); U é o perímetro médio da seção transversal da ancoragem (m); L_b é o comprimento do trecho ancorado ou bulbo (m); k_f é o coeficiente de ancoragem, que foi adotado igual a 0,5.

Em seguida foram realizadas análises de estabilidade no equilíbrio limite com aplicações de forças pontuais na face do talude com a inclinação dos tirantes para estabelecer as forças necessárias para estabilização do maciço. Frente a estas análises, foi dimensionado os elementos resistentes a tração, tirantes. A partir das cargas e da capacidade de carga do trecho ancorado, foram realizados ajustes nos comprimentos dos tirantes, para que a localização do bulbo garanta que sua capacidade de carga seja superior as cargas dos tirantes.

No estudo para a verificação da influência da altura da cortina e da rigidez do paramento, a inclinação dos tirantes adotada foi de 20°, enquanto que nos estudos para verificação da influência da inclinação dos tirantes, foi realizado a variação da inclinação dos tirantes em ângulos de 10°, 20°, 30° e 40°. A resistência por atrito lateral bulbo-solo, q_s , isto é, a resistência ao cisalhamento dos tirantes foi calculada de acordo com a equação 2 do

método de Bustamante e Doix (1985).

$$T_L = \pi \cdot D_e \cdot L_b \cdot q_s = \pi \cdot \beta \cdot D_p \cdot L_b \cdot q_s \quad (2)$$

Onde: q_s é a resistência ao cisalhamento (kN/m^2); D_p é o diâmetro perfurado do trecho ancorado; e β é o coeficiente de majoração do diâmetro do bulbo devido à injeção, valor adotado de 1,10. Nas Tabelas 2, 3 e 4, estão apresentados os dados dos tirantes enumerados do topo para a pé do talude.

Tabela 2: Concepção final dos tirantes - talude tipo de 6m

Descrição	Símb.	Unid.	Tirantes		
			1	2	3
Comp. do Trecho Livre	L_l	m	8,0	8,0	6,0
Comprimento Bulbo	L_b	m	8,0	8,0	8,0
Esp. Horizontal	S_h	m	2,0	2,0	2,0
Diâmetro do furo	D	m	0,1	0,1	0,1
Res. cisalhamento	q_s	kPa	67	83	94

Tabela 3: Concepção final dos tirantes-talude tipo de 8m

Descrição	S*	U**	Tirantes			
			1	2	3	4
Comp. T. Livre	L_l	m	10,0	10,0	8,0	8,0
Comp. Bulbo	L_b	m	8,0	8,0	8,0	8,0
Esp. Horizontal	S_h	m	2,0	2,0	2,0	2,0
Diâmetro	D	m	0,1	0,1	0,1	0,1
R. cisalhamento	q_s	kPa	73	89	100	116

Tabela 4: Concepção final dos tirantes-talude tipo de 12m

Descrição	S*	U**	Tirantes					
			1	2	3	4	5	6
Comp. T. Livre	L_l	m	14	14	10	10	8,0	8,0
Comp. Bulbo	L_b	m	10	10	10	10	10	10
Esp. Horizontal	S_h	m	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Diâmetro	D	m	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
R. cisalhamento	q_s	kPa	87	103	108	125	136	152

S* abreviação de símbolo U** abreviação de unidade

4 ESTUDOS DE ESTABILIDADE NO EQUILÍBRIO LIMITE

As condições de segurança das estruturas dimensionadas foram verificadas quanto à estabilidade externa (global) e interna no equilíbrio limite simulando a obra finalizada.

Desta forma, no módulo SLOPE/W foi realizado o estudo de estabilidade global por meio do método rigoroso de Morgenstern & Price com a finalidade de avaliar o nível de segurança da estrutura de contenção. A Figura 3 apresenta as análises de estabilidade global com

os respectivos fatores de segurança encontrados para os taludes de 6,0 m, 8,0 m e 12,0 m de altura. Observou-se que os fatores de segurança ficaram elevados em relação ao indicado pela norma brasileira. Tal situação é explicada na Figura 4 onde são apresentadas as análises de estabilidade interna que governaram a solução por serem menores que os fatores de segurança obtidos na estabilidade global.

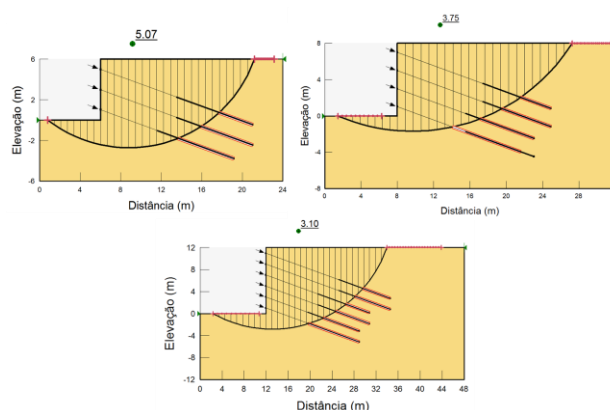


Figura 3: Fator de segurança global para os taludes de: a) 6,0 m ($F_s=5,07$); b) 8,0 m ($F_s=3,75$); c) 12,0 m ($F_s=3,10$).

A estabilidade interna da estrutura foi verificada com o intuito de complementar o estudo de segurança da contenção, verificando se os comprimentos dos tirantes e sua resistência ao arrancamento. Nestes casos, as condições de estabilidade mostram-se favoráveis com fator de segurança superiores a 1,50. Pode-se observar que para a altura de 6,0 m, o fator de segurança determinado ficou muito mais elevado que o indicado por norma. Tal situação é justificada pela necessidade de recobrimento de solo de 5,0 m sobre o bulbo do tirante.

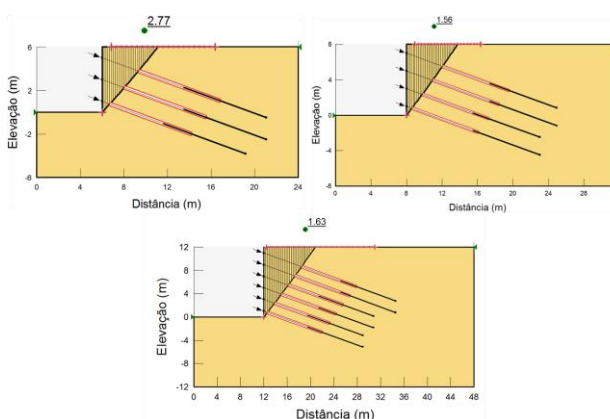


Figura 4: Fator de segurança interno para os taludes de: a) 6,0 m ($F_s=2,77$); b) 8,0 m ($F_s=1,56$); c) 12,0 m ($F_s=1,63$).

5 ESTUDOS DE TENSÃO-DEFORMAÇÃO DOS TALUDES TIPO

O estudo teve continuidade com análises de tensão-deformação, utilizando o módulo SIGMA/W, com o intuito de analisar os deslocamentos das faces, a plastificação do solo durante o processo construtivo e as solicitações interna no paramento para determinar a influência da rigidez do paramento de face em relação às alturas, a verificação da influência da variação da inclinação dos tirantes, além do comportamento da estrutura em relação ao processo executivo da cortina.

A inclusão dos componentes da estrutura de contenção em cortina atirantada, no módulo SIGMA/W, se deu por meio de elementos representativos, denominados de elementos de viga que possuem rigidez à flexão para a modelagem do paramento e do bulbo e por elementos de barra que possuem rigidez axial representando o trecho livre. Para a representação dos elementos de viga são necessários alguns dados geométricos da seção transversal, área e momento de inércia (A e I respectivamente), e da rigidez, a elasticidade do material (E). Já para a modelagem dos elementos de barra, os dados de entrada são área (A), a elasticidade do material (E) e força axial aplicada (F). A partir destes dados o programa calcula a rigidez axial ($E \times A$) e a rigidez flexional ($E \times I$) do elemento (Figura 5).

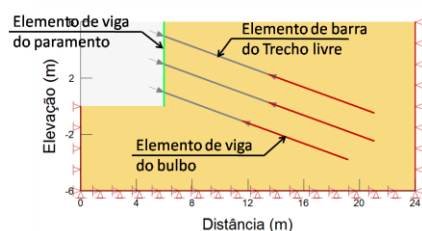


Figura 5: Modelagem do talude tipo no SIGMA/W.

A obra em cortina atirantada é uma estrutura tridimensional que será modelada em um programa bidimensional por meio de um modelo discretizado em elementos finitos com o modelo constitutivo elasto-plástico. A variação da rigidez dos paramentos será contemplada pela alteração nos taludes tipo dos elementos que simulam os paramentos.

Por se tratar de um problema tridimensional, a modelagem do paramento e dos tirantes foi normalizada por metro longitudinal de obra. O modelo numérico foi discretizado em uma malha com quadrangulares e triangulares com 13.511, 15.820 e 32.398 elementos, respectivamente nos taludes tipos com patamar de 6, 8 e 12 metros. A malha foi discretizada com maior refinamento nas linhas que definem a face da estrutura de contenção e nas linhas dos tirantes. Portanto, os elementos constituintes das malhas possuem dois tamanhos, de 0,10 metros nas linhas refinadas e de 0,25 metros nos elementos principais denominados pelo sistema de elementos globais, para o talude de 6,0 m de altura e de 0,10 metros nas linhas refinadas e de 0,50 metros nos elementos principais para os taludes de 8,0 m e 12,0 m de altura.

Para a simulação do processo construtivo foram adotadas etapas pelo método executivo descendente onde se escava e posteriormente executa-se a contenção (Figura 6).

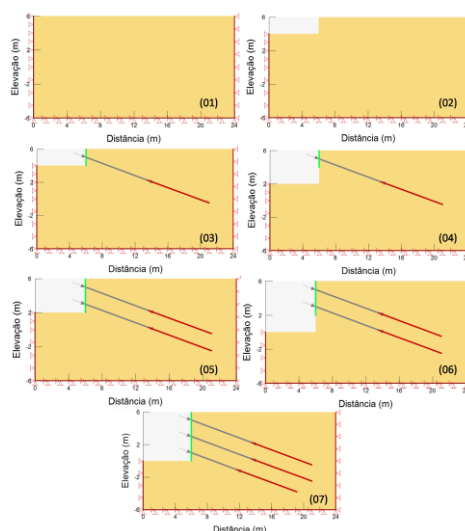


Figura 6: Sequência construtiva adotada para o patamar de 6 m: (01) tensões in situ; (02), (04) e (06) escavações; (03), (05), (07) inserção do tirante e do paramento.

6 ANÁLISES DO DESLOCAMENTO DE FACE – MÉTODO EXECUTIVO DESCENDENTE

O método simulado é o da cortina ancorada descendente, que consiste na execução do paramento e da ancoragem após cada etapa de escavação. À medida que as escavações nos

taludes são executadas, o solo contido sofre o desconfinamento lateral que pode levar a pequenos deslocamentos de massa.

Os resultados das análises de tensão-deformação da cortina atirantada pelo método executivo descendente, com patamar de 6,0 m de altura, demonstraram que os deslocamentos de face pouco influenciaram com o aumento da rigidez da face como apresentado na Figura 7.

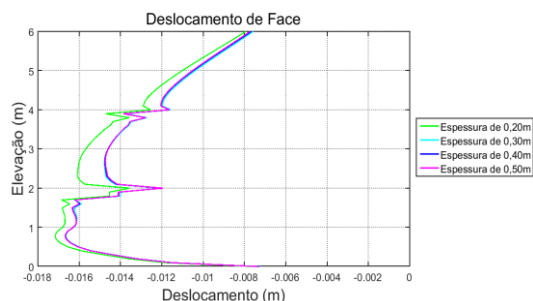


Figura 7: Deslocamentos da face - talude tipo de 6 metros

Para obras em cortina atirantada com patamar de 8 metros, os resultados dos deslocamentos demonstram influência da rigidez da face, sendo o paramento com espessura de 0,50 m o de melhor eficiência. O máximo deslocamento de 4,14 cm ocorreu na contenção com paramento de espessura igual a 0,20 m, o menor deslocamento de 3,66 cm foi alcançado na estrutura com paramento de 0,50 m (Figura 8). A equalização dos deslocamentos foi obtida com o aumento da rigidez da face (Figura 8).

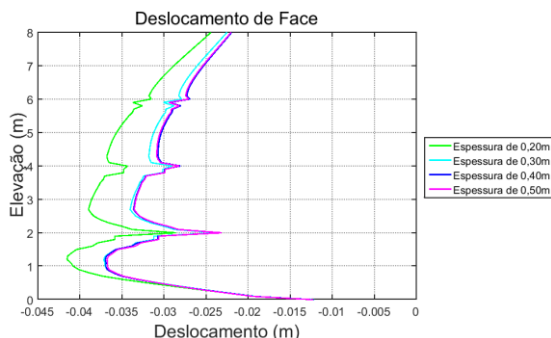


Figura 8: Deslocamentos da face no talude tipo com patamar de 8 metros

Como nos demais casos, nas obras mais elevadas com 12 m, o resultado que mostra melhor eficiência em termos de deslocamento do sistema é o paramento com espessura de 0,50 m com 5,95 cm. O máximo deslocamento alcançado foi de 10,21 cm com paramento com

espessura de 0,20 m como ilustrado na Figura 9.

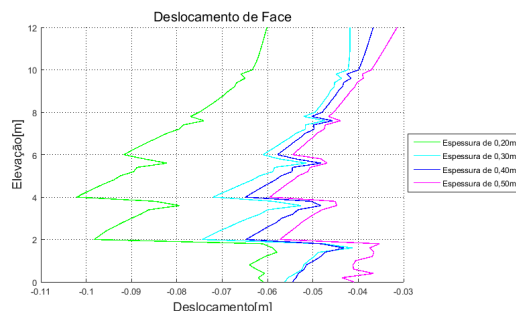


Figura 9: Deslocamentos da face no talude tipo com patamar de 12 metros

O deslocamento máximo obtido no talude tipo com patamar de 6 metros foi da ordem de 0,29% em relação à altura da obra de contenção, e do patamar de 8 metros foi de 0,51%, já o deslocamento máximo do talude tipo com patamar de 12 metros obteve o valor de 0,85% em relação a sua altura.

7 ANÁLISE DO MOMENTO FLETOR MOBILIZADO NOS PARAMENTOS

Para o dimensionamento do paramento da cortina, é importante analisar a distribuição das tensões e solicitações atuantes. A medida que se segue as etapas de escavação, os momentos aumentam e consequentemente mudam de direção e posição. Com relação à distribuição de tensões no paramento há um acréscimo nas solicitações em resultado do processo de escavação que dependendo da localização na estrutura poderá sofrer uma maior solicitação.

Ao analisar a evolução do momento fletor atuante sobre os paramentos verificou-se que o esforço aumentou bruscamente com o aumento da elevação dos taludes estudados. Nos taludes de 6,0 m e 8,0 m de altura o momento atuante pouco sofreu alteração com o aumento da rigidez do paramento obtendo uma maior solicitação nos paramentos de 0,40 m e 0,50 m de espessura com cerca de 10 kN/m (Figura 10 e 11). O talude com 12,0 m de altura foi o que obteve um aumento substancial dos momentos atuantes com uma diferença em módulo de cerca de 45% dos momentos atuantes no paramento com espessura de 0,20 m em relação

ao paramento com 0,50 m (Figura 12).

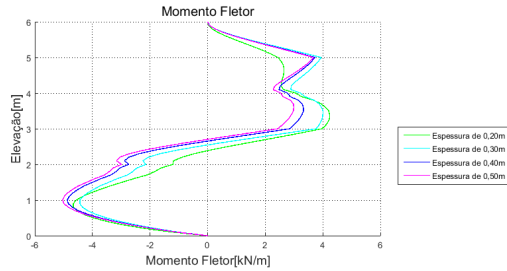


Figura 10: Momento fletor no paramento - talude tipo 6 m

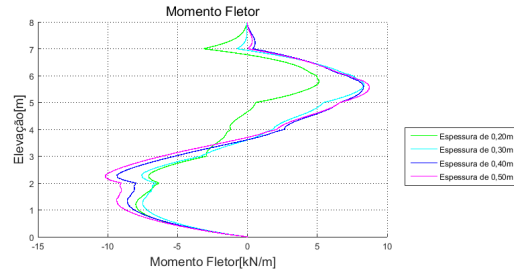


Figura 11: Momento fletor no paramento - talude tipo 8 m

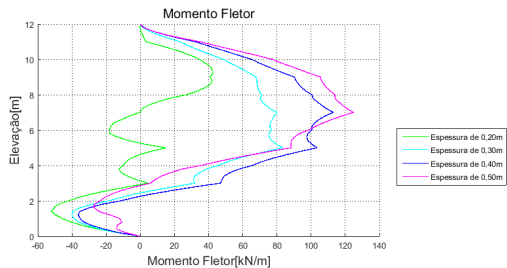


Figura 12: Momento fletor no paramento - talude tipo 12m

A influência da rigidez do paramento nos momentos atuantes se mostrou significativa para as obras elevadas de 12,0 m. Nestes casos, pode-se dizer que o aumento da rigidez do paramento ocasiona o aumento do momento fletor sobre o mesmo.

8 INFLUÊNCIA DO MÉTODO CONSTRUTIVO

A maneira como os deslocamentos e os esforços se distribuem depende principalmente do método construtivo adotado ao se executar a técnica de cortina atirantada. As Figuras 13 e 14 demonstram os resultados das análises envolvendo a utilização do método executivo descendente escalonado e a concepção adotando a cortina escavada. A diferença básica dos dois métodos é que no caso da cortina escavada, o paramento é executado em sua totalidade antes

das escavações.

Os resultados apontam uma uniformidade dos deslocamentos e da distribuição de momentos sobre os paramentos executados antes das escavações, além disso, uma redução substancial dos deslocamentos em cerca de 40% e 80% dos momentos atuantes. Tal fato pode ser justificado pela atuação imediata do paramento na contenção dos deslocamentos originados pelo desconfinamento e pelo auxílio das forças de protensão aplicadas pelos tirantes ao serem executados imediatamente após a escavação.

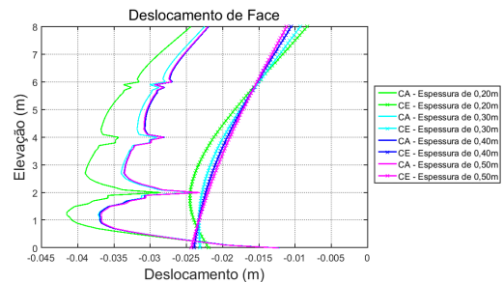


Figura 13: Comparativo dos deslocamentos utilizando o método executivo descendente e cortina escavada – talude tipo de 8,0 m de altura

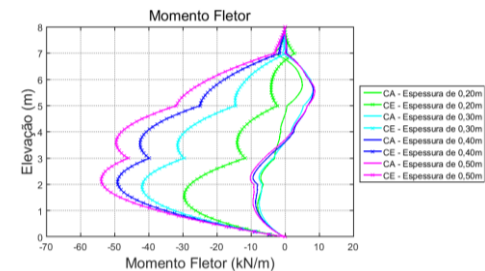


Figura 14: Comparativo dos momentos no paramento utilizando o método executivo descendente e cortina escavada – talude tipo de 8,0 m de altura

9 INFLUÊNCIA DA INCLINAÇÃO DOS TIRANTES

Os resultados apontam que para inclinações elevadas dos tirantes em relação a horizontal entre os ângulos de 30° e 40° graus, a contenção perde significativamente a sua estabilidade, mesmo adotando as mesmas ancoragens e forças de protensão. Tal fato pode ser justificado no caso do talude estudado com a face vertical (inclinação de 90°), a componente horizontal dos esforços transmitidos pelo tirante ao maciço é maior que a vertical ao aplicar as inclinações entre 10° e 30° o que garante a

estabilidade do maciço. Desta forma, percebe-se que para inclinações dos tirantes entre 30° e 45°, a componente vertical da força aplicada pelo tirante se torna mais eficaz, o que provoca a consequente perda de estabilidade e aumento tanto dos deslocamentos quanto dos momentos atuantes no paramento (Figuras 15 e 16).

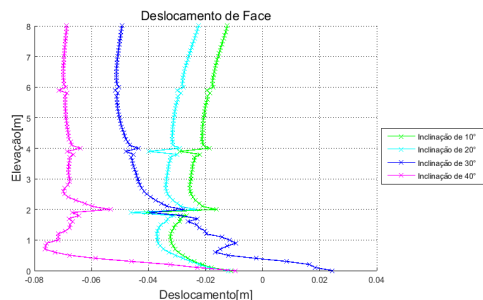


Figura 15: Deslocamentos da face para diferentes inclinações dos tirantes – Talude tipo de 8,0 m

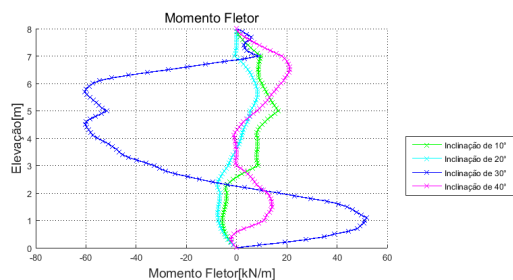


Figura 16: Momento fletor atuante no paramento para diferentes inclinações dos tirantes – Talude tipo de 8,0 m

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para os casos estudados a contenção em cortina atirantada, menor de altura, mostrou-se pouco influente a respeito das alterações de rigidez da face. Para obras elevadas são os paramentos com espessura de 0,40 m e 0,50 m que apresentam o resultado de melhor eficiência, em termos de deslocamento do sistema, porém estas estruturas obtiveram os maiores momentos fletores atuantes. Estruturas mais rígidas em taludes inferiores a 6,0 m de altura não justificam o gasto com elementos mais rígidos, pois os mesmos não ocasionam e ganhos significativos em estabilidade. Os momentos são maiores nos taludes mais elevados, registrando aumentos significativos.

Quanto ao processo executivo, os resultados apontam uma uniformidade dos deslocamentos e da distribuição de momentos sobre os paramentos executados antes das escavações,

além da redução dos mesmos. Desta forma, sempre que possível, em relação a acessibilidade a obra e as características geológico-geotécnicas do maciço, o melhor método executivo é a cortina escavada.

O estudo da influência da inclinação dos tirantes sobre a cortina ancorada demonstrou que com cortina verticalizada, as inclinações dos tirantes em relação a horizontal devem compreender entre 10° e 30°. Inclinações dos tirantes entre 30° e 40° devem ser empregadas apenas quando há necessidade de desvio de obstáculos ou para garantir a ancoragem no terreno resistente, evitando que comprimento do trecho livre seja excessivo.

Pode-se concluir então, que o faceamento apresenta função estrutural na estabilização da massa ancorada inibindo as instabilidades durante as escavações. A rigidez da face influencia nas movimentações e a mobilização de esforços no paramento. Assim, quanto maior a rigidez do paramento de face menor a deslocabilidade da estrutura e maior a geração de esforços internos.

REFERÊNCIAS

- Bustamante, M.; Doix, B. (1985) “*Une méthode pour le calcul des tirants et des micropieux injectés*”. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, n. 140, p. 75-92, 1985.
- Carvalho, M. A. R. (2009) *Ancoragens pré-esforçadas em obras geotécnicas. Construção, ensaios, e análise comportamental*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal. 495p. 2009.
- Mendes, F. B. (2010) *O uso de ferramenta computacional na avaliação e dimensionamento de cortina atirantada*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Núcleo de Geotecnia – NUGEO. Ouro Preto. 148p. 2010.
- More, J. Z. P. (2003) *Análise numérica do comportamento de cortinas atirantadas em solos*. Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2003. 120p.
- ABNT (2006) NBR 5629:2006 - *Execução de tirantes ancorados no terreno*. Associação Brasileira de Normas técnicas (ABNT). Rio de Janeiro.
- Yassuda, C. T.; Dias, P. H. V. (1996) *Tirantes*. In: *Fundações: Teoria e Prática*, 2ª edição, Hachich et al. (eds.), cap. 17, PINI, São Paulo, SP.