

Modelagem de Cortina Atirantada Através do Software FTOOL

Gisele Machado Mota

UNESP/FEG, Guaratinguetá, Brasil, giselemmota@gmail.com

George de Paula Bernardes

UNESP/FEG, Guaratinguetá, Brasil, gpb@feg.unesp.br

Eduardo Dell'Avanzi

UFPR, Paraná, Brasil, eduardo.dell.avanzi@gmail.com

RESUMO: As construções nos grandes centros urbanos requerem cada vez mais o uso do espaço subterrâneo, mostrando-se necessárias estruturas de contenção eficientes de modo a garantir uma escavação segura e sem comprometimento das estruturas vizinhas. Muitos são os métodos de dimensionamento de estruturas de contenção e os programas disponíveis para este dimensionamento são, na sua grande maioria, comerciais e de interface mais complexa. Este trabalho avalia o potencial de uso do programa Ftool, criado pelo Tecgraf/PUC-Rio para análise de estruturas, como ferramenta auxiliar no dimensionamento de uma cortina atirantada. Foi utilizado como caso de estudo uma cortina atirantada executada na cidade de Curitiba, Paraná, numa região onde o solo pertence à Formação Guabirotuba. Esta obra contava com medidas de inclinômetro posicionado na região mais crítica da estrutura onde foram observados deslocamentos horizontais acima dos previstos em projeto. Ao final das simulações chegou-se a uma curva de deslocamentos horizontal a qual foi comparada àquela obtida pela instrumentação. Para as análises adotou-se o módulo de elasticidade do solo igual a duas vezes e meia o número de golpes do SPT e uma área equivalente a um metro de comprimento da cortina. Os deslocamentos finais previstos ficaram dentro da faixa dos deslocamentos medidos, uma vez que, foram avaliados duas espessuras equivalentes de cortina (perfil metálico e pranchões de madeira) e dois comprimentos de elementos de barra (solo). Uma discussão é apresentada quanto à modelagem da cortina pelo Ftool no que diz respeito ao uso do elemento de barra e seus graus de liberdade ou o elemento mola formando o modelo de Winkler.

PALAVRAS-CHAVE: Cortina Atirantada, Ftool, Deslocamentos Horizontais, Coeficiente de Reação do Solo, Modelagem Numérica.

1 INTRODUÇÃO

Os métodos de dimensionamento de estruturas de contenção sofreram um processo evolutivo, iniciando-se com o uso de diagramas de empuxos mobilizados (obtidos a partir da retro-análise dos resultados da instrumentação de cortinas), à tendência atual de uso de programas computacionais baseados no método dos elementos finitos que permitem simular o efeito do processo construtivo. Seguindo esta tendência de evolução, observa-se o desenvolvimento de vários programas

computacionais de avaliação do comportamento de cortinas atirantadas, a maioria deles comerciais e, em muitos casos, de interface com o usuário consideravelmente mais complexa. Visando possibilitar a iniciação de profissionais não familiarizados com o universo da simulação numérica na tendência de desenvolvimento da engenharia mundial, este trabalho tem por objetivo avaliar o potencial de uso de um software educacional gratuito na simulação do comportamento de cortinas atirantadas. O programa, desenvolvido pelo Tecgraf/PUC-Rio e chamado FTOOL, possibilita desenvolver

modelos numéricos baseados no método dos elementos finitos unidimensional de materiais elásticos lineares. A versatilidade do programa possibilita a simulação de pórticos bidimensionais compostos por elementos de barra. No caso específico de simulação de cortinas, a massa de solo pode ser simulada através de um conjunto de elementos de barra ou através de molas (modelo de Winkler). Em ambos os casos, o desafio é estabelecer magnitudes dos coeficiente de rigidez e reação do solo de tal modo a quantificar os esforços e os deslocamentos horizontais de uma parede de contenção de modo mais acurado possível. É importante observar que, uma vez que o programa não envolve um critério de ruptura nas características mecânicas dos materiais, cabe ao engenheiro responsável pela simulação proceder com análises complementares para avaliação da ruptura ou não do conjunto solo-estrutura de contenção. O presente artigo focará somente na capacidade de simulação do comportamento de estruturas de contenção atirantadas.

2 CASO ESTUDADO

2.1 Características da Cortina Atirantada

A cortina atirantada objeto de estudo localiza-se na cidade de Curitiba-PR, situada em uma região cujo solo pertence à Formação Guabirota.

A estrutura foi projetada em perfis metálicos verticais intercalados com pranchões de madeira com larguras variando entre 1,5m e 2m. A altura de corte variou entre 6,5m e 11,5m, com ficha de embutimento igual a 2,5m. O projeto original previa a instalação de duas linhas de ancoragens provisórias posicionadas, respectivamente, a 2,50m e 5,50m de profundidade a partir da cota do terreno original na região de maior altura de corte. Todos os tirantes foram definidos com mesma inclinação de instalação (ângulo de 15° com a horizontal) e espaçamento horizontal entre ancoragens de 2,50m. O diâmetro da barra de aço dos tirantes foi definido como igual a 5,00cm, sendo dimensionados para resistir a esforços de 250kN e carga limite de 500kN. A ligação entre tirantes

de cada linha de ancoragem foi prevista através da instalação de dois perfis metálicos horizontais posicionados imediatamente acima e abaixo da cota de instalação das ancoragens. Uma vez que não era prevista nenhuma solidarização entre perfis metálicos, a isoestaticidade da cortina somente era garantida através da ação efetiva da carga de protensão imposta aos tirantes pressionando a cortina contra o solo contido.

2.2 Características do Solo

A Formação Guabirota é uma unidade geológica de ampla abrangência presente na área da Região Metropolitana de Curitiba (Nascimento e Puppi, 1999). O solo, popularmente conhecido como “sabão de caboclo” (se torna liso quando umedecido), é constituído predominantemente por finos e tem espessura superior a 40 metros (Prates, 1999).

Suas peculiaridades de acordo com Nascimento e Puppi, 1999, são: cor cinza esverdeada, marrom e avermelhada, é descrito como argila siltosa ou silte argiloso de boa consistência, com resistência predominantemente elevada, rigidez alta, o que define baixa compressibilidade e alto pré-adensamento, com alta expansibilidade diante de inundação ou desconfinamento, e empastilhamento devido ao desconfinamento, a molhagem e a secagem.

Conforme Kormann (1999) observam-se com frequência nos ensaios de SPT, números de golpes na faixa de 15 a 30 para os primeiros metros de sondagem, e valores de pressão de pré adensamento entre 400 a 1000 kPa com razões de sobreadensamento da ordem de 25, valores esses associados em parte à remoção de camadas e parte a ciclos de secagem e umedecimento.

Kormann (1999) ainda cita em seu trabalho que a partir dos valores de ângulo de atrito e de razões de sobreadensamento da Formação Guabirota, para qualquer combinação de parâmetros, o coeficiente de empuxo no repouso, k_0 , resultaria em valor maior que 1,0, informação essa muito importante no dimensionamento de obras de contenção em que o processo construtivo visa impedir

deslocamentos horizontais do terreno.

Com relação ao módulo de elasticidade (E), Neto et al. (1999) em seus estudos de uso do Ensaio de Placa num caso de obra de fundação direta na Formação Guabirotuba, extraem valores indiretamente a partir das provas de carga e de duas formulações derivadas da teoria da elasticidade, onde a primeira gera valores médios de E entre 9 e 25 Mpa e a segunda valores entre 14 a 40 Mpa.

3 METODOLOGIA

Existem diversos modelos para análise da interação solo estrutura. Santos (2008) indica que Winkler em 1867 propôs o conceito de coeficiente de reação para modelar essa interação, onde a massa de solo seria simulada por um conjunto de molas posicionadas em paralelo. Ziaie-Moayed e Janbaz, 2009, descrevem o modelo de Winkler caracterizando-o como uma série de molas elásticas lineares desconectadas, de tal modo que as deformações ocorrem somente onde o carregamento existe. De acordo com Santos (2008), este modelo pode ser usado para análise de fundações superficiais ou estacas sob ações laterais, conforme Figura 1:

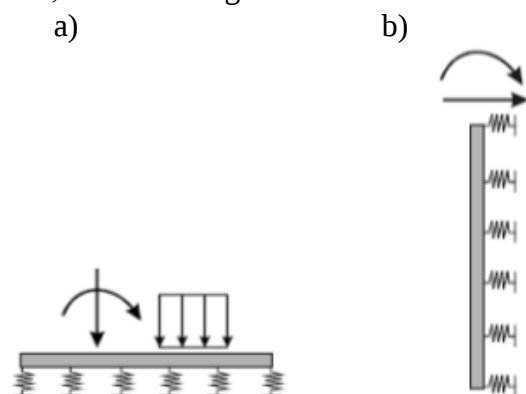


Figura 1. Discretização do solo por molas, Modelo de Winkler. a) Fundações superficiais. B) Estacas.

A modelagem matemática para estruturas de contenção em cortinas atirantadas envolve características que podem ser comparadas ao estudo de estacas carregadas lateralmente, portanto a aplicação do modelo de Winkler mostra-se viável.

Assume-se neste modelo que a razão entre pressão de contato, P, em um dado ponto, e o

deslocamento, y, associado a ele, é linear e dado por um coeficiente de rigidez, ou um módulo de reação do solo, ou ainda, um coeficiente de recalque, designado comumente pela letra k, conforme mostrado na equação que segue:

$$P = k \cdot y \text{ ou } k = \frac{P}{y} \quad (1)$$

Onde, P é a força aplicada; y é o deslocamento (recalque); e k é o coeficiente de recalque, também conhecido por coeficiente de mola ou constante de proporcionalidade.

Porém, o coeficiente de reação através dessa relação é baseado em premissas bastante simplificadas, diante do fato que ele obedece a Lei de Hooke. Desta forma, Terzaghi (1955) defende que, afim de se obter valores para o coeficiente de reação razoavelmente acurados, o mesmo deve ser compatibilizado com as deformações potenciais do subsolo e a respectiva dimensão da área carregada. O autor apresenta fatores que influenciam o valor do coeficiente de reação, tanto vertical quanto horizontal, tanto para solos arenosos quanto para solos argilosos.

O módulo de reação apresentado por Terzaghi (Equação 2) é crescente com a profundidade para solos arenosos e argilas normalmente adensadas. Já para argilas sobreadensadas, ele se mostra constante.

$$k = n_h \cdot x \quad (2)$$

Souza (2008) apresenta valores indicativos para n_h conforme sugeridos por diversos autores, tabela 1.

A relação entre a teoria da elasticidade e o elemento de barra, ou mola, do modelo de Winkler, é obtida a partir da lei de Hooke unidimensional (Equação 3), substituindo-se as fórmulas de tensão normal (σ) e deformação específica (ϵ) pelas respectivas definições em termos de força, área transversal do elemento, comprimento original e deslocamento resultante da ação da força (Equação 4).

$$\sigma = E \epsilon \quad (3)$$

$$\frac{F}{A} = E \cdot \frac{\delta}{l_0} \quad (4)$$

Tabela 1. Módulo de reação do solo.

Solos arenosos:		
módulo de reação crescente em profundidade $k=n_h x$ Terzaghi (1955)		
Compacidade da areia	n_h (kN/m ³)	
	Seca ou húmida	Submersa
Solta	2300	1300
Média	6800	4500
Compacta	18000	11000
Solos argilosos:		
<u>Argilas normalmente consolidadas</u>		
módulo de reação crescente em profundidade $k=n_h x$		
Argila mole		
$n_h = 160$ a 3450 kN/m ³ , Reese e Matlock (1956)		
$n_h = 270$ a 540 kN/m ³ , Davisson e Prakash (1963)		
Argila orgânica		
$n_h = 110$ a 270 kN/m ³ , Peck e Davisson (1962)		
$n_h = 110$ a 810 kN/m ³ , Davisson (1970)		
<u>Argilas sobreconsolidadas</u>		
módulo de reação k constante em profundidade		
$k = 67c_u$, Davisson (1970)		

Analogamente, considerando o solo um elemento de barra, ao sofrer uma força F , o mesmo reage com um alongamento x , dado por:

$$\frac{F}{A} = E \cdot \frac{x}{l} \quad (5)$$

Isolando a deformação, tem-se a fórmula do alongamento da barra em termos de deformação:

$$x = \frac{F \cdot l}{E \cdot A} \quad (6)$$

Substituindo a Equação 6 na Equação 1, tem-se a equação do coeficiente de rigidez:

$$k = \frac{E \cdot A}{l} \quad (7)$$

Onde, k é o coeficiente de rigidez do elemento de barra, no caso o solo; E é o módulo de elasticidade longitudinal, ou módulo de Young; A é a área da seção transversal do elemento considerado e l o comprimento inicial do elemento barra.

3.2 Aspectos da Concepção do Modelo no FTOOL

Um dos primeiros aspectos a ser considerado na elaboração de um modelo de Winkler no FTool, é o fato de que o programa simula o comportamento de pórticos planos considerando

a inércia real dos elementos (função da sua geometria tridimensional). Ou seja, há a necessidade de se definir uma seção transversal ao plano de análise, muito embora esta não seja apropriadamente identificada pela imagem da tela do computador. Em outras palavras, procede-se com uma "extrusão" hipotética do modelo através da consideração indireta das respectivas cargas, inércias compostas e áreas equivalentes de todos os elementos envolvidos.

Para análise das forças atuantes tomar-se-á o desenvolvimento de Souza (2012), onde é considerada a atuação do empuxo de solo (a ser equilibrada pelos tirantes) somente na região de corte de solo, ou seja, somente na região de localização do paramento cujas tensões horizontais no solo são desbalanceadas pelo processo de escavação e há tendência de diminuição das tensões horizontais. A região da ficha de embutimento é modelada através da adoção da simulação do solo por meio de elementos de barra horizontais (modelo de Winkler), cuja rigidez é ditada pelo comprimento do mesmo. Esta rigidez deve ser correlacionada com o processo de escavação. Processos lentos de escavação, com tendência de mobilização gradativa das tensões horizontais na região da ficha ditada por solicitação drenada, deve-se verificar a necessidade de adoção de elementos com comprimentos diferentes ao longo da profundidade. Processos rápidos de escavação, cuja solicitação seja predominantemente não drenada, deve-se adotar elementos com comprimentos iguais (Figura 2). A distância entre elementos e a respectiva largura dos mesmos depende do tipo de ficha da cortina. Para cortinas com ficha discreta, utiliza-se uma largura de elemento igual a duas vezes a largura da mesa do perfil metálico. Para cortinas com ficha contínua, a largura do elemento solo deve ser igual à profundidade de extrusão do paramento.

Os tirantes são simulados por elementos de barra posicionados na elevação e inclinação de projeto, com inércia igual a barra de aço ou conjunto de cordoalhas a serem utilizadas no campo. Somente o comprimento livre de ancoragem é simulado, portando, estes podem ser representados por meio de barras engastadas

na extremidade relativa ao início do trecho de ancoragem com articulação junto ao paramento, ou através de barras biarticuladas em ambas as extremidades (paramento e início do trecho de ancoragem). As cargas axiais dos tirantes do modelo devem ser ajustadas de modo a ser considerada a relação entre a profundidade de extrusão do modelo e as respectivas distâncias horizontais entre duas ancoragens adjacentes. O processo de modelagem é iterativo, uma vez que necessita-se compatibilizar as tensões mobilizadas com os respectivos deslocamentos da cortina. O procedimento consiste na estimativa do estado inicial geoestático de tensões (estado k_0), na estimativa dos deslocamentos resultantes desse carregamento, no recálculo de novas tensões mobilizadas (de magnitude menor devido ao deslocamento da cortina) e na reavaliação dos novos deslocamentos até se atingir uma convergência direta entre tensões aplicadas e os respectivos deslocamentos da cortina. Em geral, adota-se uma relação linear indireta entre os deslocamentos e as tensões mobilizadas (que variarão entre o repouso e o ativo), conforme preconizado pelo EUROCODE 7.

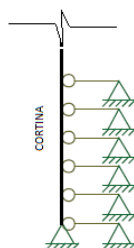


Figura 2. Elementos de barra representando o solo (adaptado de Souza, 2012).

As forças resultantes nos elementos solo localizados ao longo da ficha deverão ser decompostas nas respectivas tensões e comparadas com as tensões horizontais passivas limites considerando-se as características dos processos simultâneos de descarregamento vertical e carregamento lateral que a massa de solo na região da ficha é submetido. Sempre que se observar uma magnitude de tensão horizontal superior à magnitude limite, deve-se proceder com uma diminuição da distância horizontal entre perfis verticais (para o caso de cortinas com ficha discreta) ou aumento do

comprimento e da rigidez da mesma (para o caso de cortinas com ficha contínua). Um resumo do processo de modelagem envolve, portanto, as seguintes etapas:

- Inclusão do modelo no Ftool, definindo geometria, materiais, nós e apoios;
- Inserção dos elementos das forças;
- Verificação da deformação da cortina;
- Ajuste dos empuxos horizontais atuantes e reanálise da deformada da cortina

Diversos modelos podem ser analisados a partir dessas definições, onde serão descartados os modelos não representativos, adotando-se o modelo mais acurado.

O modelo adotado no trabalho da autora e aqui considerado, trata-se de barras de apoio fixo que representam o solo apenas no local da cortina onde ele é comprimido (altura da ficha, lado escavado), e as forças pontuais horizontais agindo na cortina (Figura 3).

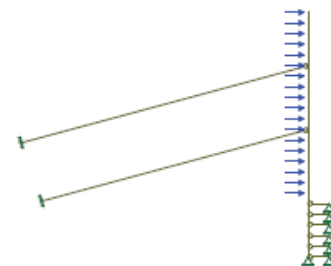


Figura 3. Modelo Representativo adotado.

3.3 Modelo Estrutural e Dados Empregados

O modelo inserido no Ftool possui as características geométricas mostradas na Figura 4, conforme Souza (2012). As características geométricas e mecânicas dos demais elementos do modelo são apresentados a seguir para a cortina, tirantes e elementos solo.

Cortina:

- Parede de 11,50m de altura, com apoio fixo em sua base;
- Seção da base de 250cm;
- Espessura de 15,0 ou 25cm;
- Módulo de elasticidade, E , equivalente a composição da cortina em aço e madeira igual a 25GPa;
- Coeficiente de Poisson, ν , equivalente a composição aço/madeira igual a 0,30;
- Nós espaçados a cada 0,5m para aplicação das forças.

Tirantes:

- Barras de seção circular;
- Diâmetro de 5,0cm;
- Módulo de Elasticidade, E, 250 GPa;
- Coeficiente de Poisson, ν , 0,30;
- Fixação articulada na cortina;
- Fixação engastada na extremidade em contato com o solo;
- Comprimentos de 14,0m e 13,0 para as profundidades de 2,50m e 5,50m;

Elementos Solo:

- Seção da base de 250cm;
- Espessura de 15,0 ou 25cm;
- SPT máximo: $N_{72}=50$;
- Módulo de elasticidade, E, de 125MPa, de acordo Décourt, 1995, onde $E = 2,5 \cdot N_{72} \text{ (MN/m}^2\text{)}$, ou 150MPa conforme sugere a literatura;
- Coeficiente de Poisson, ν , de 0,50;
- Fixação articulada a cortina, de modo a impedir a flexão na barra;
- Apoio fixo ou móvel na extremidade oposta à cortina;
- Comprimento de 0,1, 1,0 ou 5,0m.

Propriedades geotécnicas do solo:

- Peso específico, γ , 19,1 kN/m³;
- Coesão, c' , 22 kPa;
- Ângulo de atrito, ϕ' , 23,9°;

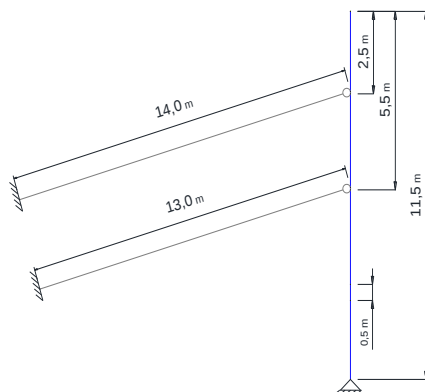


Figura 4. Modelo Estrutural Adotado.

O coeficiente de empuxo foi estudado na condição de repouso, k_0 , ou passivo k_p .

3.4 Roteiro de modelagem no FTOOL

A medida em que o modelo era implantado no Ftool, percebeu-se a necessidade do auxílio do software excel pois a cada etapa de escavação e

atirantamento havia a necessidade de registrar os deslocamentos finais de uma etapa e representar a condição inicial da etapa seguinte, visto que o Ftool apresenta os deslocamentos apenas para a etapa dimensionada, não “guardando” as informações no decorrer da modelagem. Além disso o excel foi necessário para calcular e manter as informações relativas às tensões atuantes ao longo da estrutura, tais como: tensões verticais, horizontais, empuxo ativo e passivo para cada profundidade considerada no modelo.

Da mesma forma, os deslocamentos horizontais foram sendo registrados, para cada profundidade e para cada etapa de escavação, e ao final de cada uma, foi gerado um gráfico apresentando a previsão de deslocamentos horizontais, podendo este gráfico ser comparado aos dados da instrumentação para o caso estudado, sendo aqui apresentado na quarta simulação.

3.5 Carga nos Tirantes

Do software Ftool, a partir das reações de apoio, obtém-se diretamente a força resultante no tirante T1 e T2 para cada modelo.

3.6 Coeficientes de Empuxo

Tratando-se de um solo da Formação Guabirotuba, ou seja, solo sobreadensado, decidiu-se por realizar os cálculos tomando os coeficientes de empuxo entre o estado de repouso, k_0 , e o estado passivo, k_p . Para este tipo de solo a literatura sugere que k_0 seja obtido da seguinte fórmula:

$$k_0 = (1 - \sin \Phi'). OCR^{\sin \Phi'} \quad (8)$$

E o coeficiente de empuxo passivo:

$$k_p = \frac{1 + \sin \Phi'}{1 - \sin \Phi'} \quad (9)$$

Para o solo argiloso estudado $OCR=25$ e $\phi'=23,9^\circ$, obtém-se K_0 igual a 2,19 e K_p igual a 2,36

4 RESULTADOS

Foram feitas quatro simulações. A primeira delas utilizando os coeficientes K_0 e a segunda utilizando os coeficientes K_p . Nessas simulações foram feitas variações na espessura da parede e no comprimento da barra de solo visando encontrar as deformações e as cargas nos tirantes.

Nas simulações referentes aos diferentes comprimentos das barras de solo (com 1,0 ou 5,0m) foram observados deslocamentos maiores ou menores conforme a rigidez variava, porém na maioria dos casos foram proporcionais, mostrando que este dado influenciava o deslocamento, porém não previa valores próximos ao valor real.

Decidiu-se então por variar os dados referentes à parede e aos tirantes. Para a parede foi alternado apenas a espessura pois não havia essa informação nos dados de projeto, para isso, as espessuras adotadas foram de 15,0cm e 25,0cm.

Observou-se que para a espessura de 25,0cm a rigidez da parede impediu que os deslocamentos fossem maiores próximo ao topo da contenção, sendo que a partir da primeira linha de tirantes eles passaram a ser mais próximos dos deslocamentos reais.

Para a espessura de 15,0cm os deslocamentos foram maiores no topo e ao longo de toda profundidade e acompanharam a tendência dos deslocamento reais. No entanto, no trecho de deslocamentos compreendido entre as duas linhas de tirantes os deslocamentos extrapolavam bastante os valores previstos. Embora as tentativas de refinamento do modelo tenham sido exaustivas, esse problema persistia.

Com relação as cargas, elas se mostraram dentro do valor admissível para a primeira linha de tirante e maiores para a segunda.

Posteriormente então, decidiu-se mudar os espaçamentos horizontais dos tirantes, já que suas propriedades enquanto material (módulo de elasticidade do aço) e sua geometria (espessura já era máxima) não poderiam ser alterados. Para a terceira simulação, o espaçamento horizontal foi reduzido primeiramente para 1,25m, que representa 50% do espaçamento original e depois testou-se para 70%, que representa 1,75m entre tirantes.

Até este ponto os deslocamentos foram os que mais se assemelharam do real, porém, entre as linhas de tirantes ainda se apresentaram além do esperado, estando os valores procurados semelhantes ao real no trecho do topo e do pé da estrutura de contenção estudada. Neste momento, esperava-se também que o valor na carga nos tirantes diminuiria, mas os valores continuaram semelhantes aos simulados anteriormente, e maiores que o esperado para a segunda linha de tirantes, estando superiores à carga admissível em projeto, de 500kN.

Também foram feitas simulações para um módulo de elasticidade de 150MPa, quarta simulação, haja visto que este era um valor igualmente aceitável para a argila em estudo. Variou-se o comprimento da barra de solo e o empuxo ora passivo, ora no estado de repouso. Seguem Tabelas 2 e 3 com os deslocamentos encontrados e as cargas no tirante.

Tabela 2. Deslocamentos para E=150MPa.

4ª Simulação: E=150MPa					
Coef. Empuxo	K0		Kp		Muro real
Parede	15,0cm		15,0cm		
Barra	0,1m	1,0m	0,1m	1,0m	
Prof. (m)	desloc. (mm)	desloc. (mm)	desloc. (mm)	desloc. (mm)	desloc. (mm)
0,00	66,144	72,361	68,64	78,01	93,50
0,50	57,67	63,683	60,09	68,65	81,03
1,50	41,21	46,81	43,52	50,45	58,87
2,50	29,76	34,521	32,43	37,668	34,63
3,50	31,47	36,12	35,3	38,93	20,78
4,50	33,24	38,53	36,66	41,54	17,31
5,50	28,25	34,21	30,082	37,09	13,85
6,50	27,43	32,87	28,63	35,429	15,24
7,50	22,51	28,77	22,98	31	27,70
8,50	8	14,35	7,6	15,452	17,31
9,50	-0,36	1,36	-0,43	1,47	10,39
10,50	-0,1	-0,93	0	-1	3,46
11,50	0	0	0	0	0,00

Tabela 3. Cargas nos Tirantes para a 4ª Simulação

CARGA NO TIRANTE E=150,0MPa			
Parede 15,0cm			
Coef. De Empuxo	Comp. da Barra	FT1 [kN]	FT2 [kN]
k_0	0,1m	358,78	727,76
	1,0m	348,73	777,94
k_p	0,1m	389,1	774,04
	1,0m	375,85	838,39

Semelhante ao observado nos modelos de 125MPa, os deslocamentos foram maiores em k_p do que em k_0 , sempre constantes para

diferentes comprimentos de barra. As cargas foram ligeiramente maiores que nos modelos anteriores. No geral, os deslocamentos obtidos nessa simulação se assemelharam mais ao modelo real, ficando melhor que os modelos anteriores, mas com a mesma incerteza e diferença no trecho entre segunda e terceira etapa de escavação. Conforme Figura 5 ilustrando os deslocamentos encontrados.

Muitas são as variáveis envolvidas nesse estudo, sejam quanto às propriedades dos materiais ou quanto sua geometria, cabendo ainda uma gama de análises afim de se refinar os resultados procurados, não há que se negar que a representatividade do comportamento do modelo simulado é bastante condizente com o comportamento da estrutura real analisada, restando a certeza de que o software FTOOL é um possível aliado na estimativa de deslocamentos gerados em escavações atirantadas.

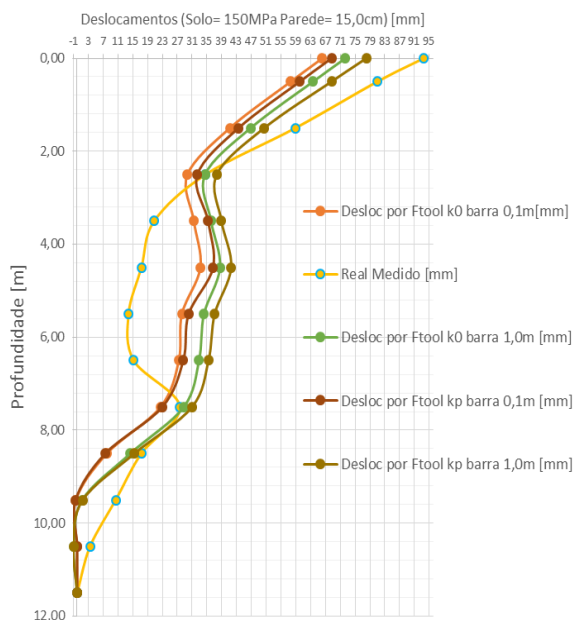


Figura 5. Deslocamentos Gerados na 4ª Simulação.

5 CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos neste trabalho se conclui que o software Ftool pode ser utilizado como ferramenta para a previsão do comportamento de cortinas atirantadas numa fase de antiprojeto. Percebeu-se pelo gráfico gerado que os deslocamentos no topo e no pé da cortina se aproximaram do real, já para as cargas nos tirantes, os valores obtidos para a

primeira linha foram satisfatórios enquanto que para a segunda eles ficaram bem acima do valor de projeto, indicando o risco de uma ruptura da estrutura.

Também foi possível verificar a utilização do modelo de Winkler como ferramenta para a adaptação do modelo real ao software tratando o solo como elementos de barra com geometria e rigidez definida.

A estimativa da rigidez relativa para o conjunto perfil metálico e estronca de madeira, assim como, a representação dos tirantes com espaçamento inferior a um metro, representaram as maiores dificuldades na modelagem.

REFERÊNCIAS

- Koramnn, A. C. M. Comportamento de argilas rijas: aspectos geotécnicos da Formação Guabirotuba. In: *Mesa Redonda Características Geotécnicas da Formação Guabirotuba*, Curitiba, 1999. Anais. Curitiba: ABMS/UFPR. p 119-117.
- Nascimento, N. A. e Puppi, R. F. K. Formação Guabirotuba: algumas características e comentários sobre fundações e contenções. In: *Mesa Redonda Características Geotécnicas da Formação Guabirotuba*, Curitiba, 1999. Anais. Curitiba: ABMS/UFPR. p 189-195.
- Neto, L. A. Ferreira, C. C. Kormann, A. C. M. Chamecki, P. R. e Neto, L. R. Fundações diretas na formação Guabirotuba: caso de obra com o uso do ensaio de placa. In: *Mesa Redonda Características Geotécnicas da Formação Guabirotuba*, Curitiba, 1999. Anais. Curitiba: ABMS/UFPR. p 103-109.
- Prates, Celso. Algumas considerações técnicas sobre fundações na camada de argila siltosa da Formação Guabirotuba. In: *Mesa Redonda Características Geotécnicas da Formação Guabirotuba*, Curitiba, 1999. Anais. Curitiba: ABMS/UFPR. p 43-52
- Santos, Jaime A. *Fundações por estacas ações horizontais. Elementos teóricos*. Obras Geotécnicas. Notas de aula IST-UTL, Portugal. 2008. Disponível em <<http://www.civil.ist.utl.pt/~jaime/EstacasH.pdf>> Acesso em 28/07/2014.
- Souza, Ana Júlia do A. *Previsão do comportamento de estruturas de contenção atirantadas utilizando o software Ftool*. Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012.
- Terzaghi, Karl. *Evaluation of coefficients of subgrade reaction*. Géotechnique, vol. 5, nº 4, p 297-326. 1955.
- Ziaie-Moayed, R. e Janbaz, M. 2009. Effective Parameters on Modulus of Subgrade Reaction in Clayey Soils. *Journal of Applied Sciences*, 9: 4006-4012. Disponível em <http://scialert.net/fulltext/?doi=j as.2009.4006.4012#41693_b> Acesso em 25/04/2015.