



# Modelagem Numérica de Parede Diafragma Atirantada em Área Urbana

Isabela Grossi da Silva 1

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, isa.grossisilva@gmail.com

Leandro Canezin Guideli 2

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, leandro.guideli@gmail.com

Renathielly Fernanda da Silva 3

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, renathielly@hotmail.com

Vitor Pereira Faro 4

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, vitorpereirafaro@gmail.com

**RESUMO:** Estruturas de contenção, tanto as passivas quanto as ativas, são utilizadas para conter determinada massa de solo com o objetivo de promover a mínima perturbação possível no local inserido, de maneira a fornecer segurança. As contenções ativas têm grande uso em áreas urbanas devido à menor deformação resultante na estrutura quando comparado com as demais. Dentro deste contexto, este trabalho apresenta estudo de uma contenção do tipo parede diafragma atirantada em área urbana. A estrutura possui restrições de deformação devido à existência de tubulação, edificação com fundação direta e rodovia em suas proximidades. Apresenta-se a modelagem do sistema em um *software* de elementos finitos e no *Ftool*, considerando a especificidade da metodologia de cálculo de cada um. Foram realizadas comparações com os resultados obtidos por meio desses *softwares*. Ao fim da pesquisa, verificou-se que os resultados obtidos pelos dois métodos apresentaram uma semelhante ordem de grandeza nos valores de deslocamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** contenção urbana, *Ftool*, tensão-deformação.

## 1 INTRODUÇÃO

Mesmo três séculos após a sistematização do estudo da mecânica dos solos a interação solo-estrutura ainda não é bem compreendida no meio geotécnico. Quando se trata de obras de contenção em áreas urbanas, esse problema é ainda mais acentuado, pois os deslocamentos considerados satisfatórios para boas práticas de engenharia são consideravelmente reduzidos afim de não interferir nas obras existentes.

Diante da necessidade de estimar os deslocamentos de uma parede diafragma atirantada, este trabalho utiliza duas ferramentas computacionais: um *software* de pórticos planos

e um programa de simulação de comportamento tensão *versus* deformação que utiliza o Método dos Elementos Finitos. Busca-se ainda realizar uma análise crítica da legitimidade dos dados de entrada em ferramentas computacionais.

## 2 CORTINA ATIRANTADA

Cortinas atirantadas são estruturas flexíveis projetadas com um paramento vertical para conter os empuxos de solo, com o intuito de manter a massa de solo estável. O paramento pode ser constituído de diversos materiais, como placas de concreto armado ou pré-



moldado, parede diafragma, estacas-pranchas, perfis metálicos, entre outros. Os tirantes são adicionados a estrutura quando se torna necessária uma maior resistência ao conjunto.

Dentro do contexto da região sul brasileira, esta solução de engenharia vem sendo amplamente empregue. Em um levantamento realizado no trecho Curitiba-Florianópolis, no ano de 2016, listaram-se 19 estruturas do tipo cortina atirantada (MIKOS, 2017). E, passados três anos desta contagem, sabe-se que este número tende a ser maior devido a presença de obras na região.

A ocorrência de deslocamentos, principalmente por flexão, é necessária para o ideal desempenho de estruturas flexíveis. Essa deformação influencia a distribuição dos empuxos de terra, afetando os momentos fletores e esforços cortante da estrutura. O processo de obtenção das deformações se torna difícil devido à complexidade dos parâmetros relacionados à análise (FUERTES, 2016), bem como dados relacionados ao solo e à concepção de um modelo numérico ou estrutural.

Denomina-se tirante o componente formado por um ou mais elementos resistentes à tração (os mais comuns são os elementos de aço como monobarras, cordoalhas ou fios) que são introduzidos no terreno por meio de uma perfuração prévia. Após isso, realiza-se a injeção de calda de cimento na parte inferior deste elemento, originando o bulbo de ancoragem (SOLOTRAT, 2018).

O tirante é composto pelo comprimento livre, no qual a barra de aço é envolta pela bainha que pode ser individual ou coletiva, uma fina camada de calda de cimento que tem contato com o solo; o comprimento ancorado que é onde se encontra o bulbo de ancoragem, onde o aglutinante é pressurizado e depois é tensionado e por isso, resiste as tensões de tração e; a cabeça na qual a força de protensão é aplicada e transmite esses esforços para a estrutura. Por serem pré-tensionados os tirantes são considerados elementos ativos (DYWIDAG, 2017).

O uso da parede diafragma em contenções

flexíveis permite atingir profundidades abaixo do nível do lençol freático por possibilitar a interceptação da água e se obtém considerável agilidade construtiva com esta opção.

Os empuxos de terra atuam como pressões laterais sobre as estruturas que estão em contato com o solo. A determinação de sua magnitude é fundamental em obras como muros de arrimo, cortinas em estacas pranchas, cortinas atirantadas, paredes diafragmas, construções em subsolo, encontro de pontes, entre outras. Existem várias formas para se obter essas pressões exercidas pelo solo sobre uma estrutura enterrada, a teoria de Rankine (1857) é uma delas. Essa teoria considera as hipóteses de que o solo a montante é uma areia pura seca homogênea em toda a profundidade considerada e a superfície superior é horizontal. Além disso, considera-se que o tardo da contenção é vertical, que não há atrito entre este paramento e o solo e que sobre o solo não há sobrecarga. Entretanto, com modificações nas equações do método, pode-se chegar a condições em que seja possível considerar a sobrecarga, presença de lençol freático, bem como a parcela de resistência ao cisalhamento correspondente à coesão do solo (DAS; SOBHAN, 2013).

### 3 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

Segundo Velloso e Lopes (2012) há duas formas principais de representação do solo em análises de interação solo-estrutura: o modelo de molas que é desenvolvido por meio de uma análise estrutural; e o meio contínuo, que pode ser elástico ou elastoplástico, o qual requer solução numérica. Desenvolvem-se estes dois métodos nos itens seguintes.

#### 3.1 Análise de pórticos planos

Mota, Bernandes e Dell'Avanzi (2016) apresentam em seu trabalho a modelagem de uma estrutura atirantada localizada na cidade de Curitiba - Paraná, onde o solo pertence à Formação Guabirotuba. Segundo estes autores,



a modelagem de uma contenção utilizando vigas com apoio elástico consiste em discretizar o solo em um sistema de molas conforme proposto na Teoria de Winkler (1867).

Neste modelo assume-se que a relação entre a pressão de contato ( $P$ ) e o deslocamento ( $\delta$ ) resultante desta pressão é linear e dado por um coeficiente de rigidez ( $k$ ) conforme mostra a Equação 1. Sendo  $k$  dado em kN/m,  $P$  em kN e  $\delta$  em metros.

$$k = \frac{P}{\delta} \quad (1)$$

Aplicando a teoria da elasticidade ao solo e considerando que este é um material que pode ser regido pela Lei de Hooke pode-se calcular o coeficiente de rigidez pela Equação 2.

$$k = \frac{E \cdot A}{L} \quad (2)$$

Em que  $E$  é o módulo de Young (MPa);  $A$  é a área entre o elemento de solo e a parede e;  $L$  (m) é o comprimento do solo definido pela distância entre a contenção o plano de ruptura passiva de Rankine,  $\theta=45^\circ-\phi/2$ .

Existem *softwares* gratuitos que possibilitam cálculos estruturais de elementos, realizando análises de vigas com apoios distintos e/ou múltiplos apoios. Um *software* deste tipo é o *Ftool*®, no qual o usuário tem como saída gráficos que possibilitam a retirada das cargas presentes nos elementos, os valores do esforço cortante e do momento fletor (TEIXEIRA, 2015).

### 3.2 Método dos Elementos Finitos

Muitos problemas de engenharia possuem análises complexas devido à geometria e/ou variáveis consideradas. De acordo com Hetland (2015) o Método dos Elementos Finitos (MEF) possibilita dividir uma estrutura complexa em segmentos menores e mais simples, denominados elementos finitos e a solução é resulta do uso das equações algébricas. O MEF

também possibilita realizar a modelagem do sistema com a interação solo e analisar a sequência construtiva (MILITITSKY, 2016).

Ressalta-se que, com a evolução dos recursos computacionais, o processo de cálculo não configura um empecilho na resolução do problema. No entanto, a determinação dos coeficientes de reação horizontal, para o caso dos programas de pórticos planos, e das propriedades de deformabilidade do solo, para o programa de elementos finitos, se torna a dificuldade encontrada pelos projetistas (VARGAS, 2016).

Fuertes (2016) estudou o dimensionamento de uma contenção flexível de um caso prático com presença de diferentes solos com vários níveis de apoio de diferentes tipos. Assim, utilizou os métodos analíticos, teorias clássicas e métodos numéricos para comparar os resultados obtidos sob diferentes formas de análise. Os resultados obtidos pelo autor apontaram que o cálculo analítico do *Ftool* foi útil como um referencial onde puderam ser aplicadas as teorias clássicas. Além disso, os modelos obtidos pelo autor apresentaram uma razoável aproximação de deslocamentos.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Contenção em estudo

A contenção em estudo, com altura de 12 m e extensão de 30 m possui uma rodovia a cinco metros a montante de sua estrutura com largura de 8 m e logo após se encontra uma edificação de 4 andares em fundação superficial do tipo sapata. Além disso, a 2 m de profundidade do passeio da rodovia passa um duto de abastecimento de água. Com as informações expostas, conclui-se que se trata de um problema cotidiano de construções em áreas urbanizadas com grande presença de elementos nos quais devem ser evitados ruídos, vibrações e deslocamentos. Para esta escavação foi adotada uma estrutura do tipo parede diafragma atirantada.



Sondagens à percussão do tipo SPT (*Standard Penetration Test*) foram realizadas no local de implantação da contenção, pelas quais verificou-se o nível freático à 3 m da superfície do terreno. A estratigrafia encontrada foi variada em profundidade com presença de três camadas dominante: um aterro com material variado, uma camada de argila com presença de material granular e uma camada de silte profunda. Os valores médios do  $N_{SPT}$  das camadas foram, respectivamente, de 6, 9 e 16. Os parâmetros necessários para a realização do estudo foram calculados conforme exposto por Joppert (2007) utilizando os valores de  $N_{SPT}$  supracitados.

O perfil estratigráfico do solo, bem como a localização da contenção e dos elementos à montante são expostos na Figura 1.

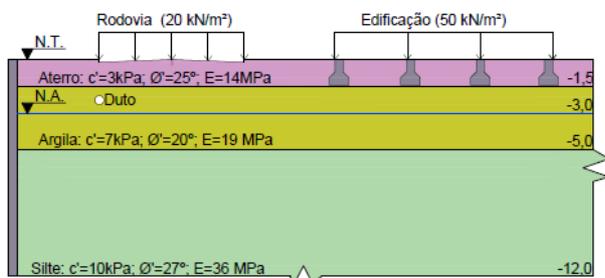


Figura 1. Configuração da área à montante da contenção.

## 4.2 Empuxo do solo

Para a realização da modelagem em *software* de pórticos planos, é necessário realizar a estimativa das solicitações sofridas pela estrutura de contenção. Estas solicitações a serem inseridas compreendem a ação do solo sobre a estrutura, assim como carregamentos externos e ação da água. Para o cálculo dos empuxos de solo e carregamentos externos (isto é, rodovia e edificação) utilizou-se a teoria de Rankine. Os coeficientes de empuxo ativo foram calculados para cada camada de solo e obtidos por meio das Equações 3 e 4.

$$k_a = \frac{\sigma'_{ha}}{\sigma'_v} \quad (3)$$

$$k_a = \frac{1 - \text{sen}\phi'}{1 + \text{sen}\phi'} - \frac{2c'}{\sigma'_v} \left( \frac{\cos\phi'}{1 + \text{sen}\phi'} \right) \quad (4)$$

Para o carregamento externo causado pela rodovia, devido à proximidade desta com a estrutura de contenção, sua sobrecarga foi distribuída em toda extensão da cortina atirantada. Já para o caso do carregamento proveniente da edificação, a distância até a contenção é mais proeminente. Portanto para se obter de maneira mais realista um carregamento que possa influenciar o comportamento da estrutura, foi utilizada uma estimativa por meio de espraio de tensões, cujo procedimento de segue a Equação 5.

$$\sigma_v = \frac{2L}{2L + 2z \text{tg}\alpha} \sigma_0 \quad (5)$$

Em que  $\sigma_v$  (kPa) indica a tensão recebida por um ponto a uma profundidade  $z$  (m), pelo efeito de uma sobrecarga  $\sigma_0$  (kPa) distribuída numa largura  $L$  (m) na superfície do terreno. O ângulo  $\alpha$  (graus) é o ângulo de espraio, cujo valor depende do solo em questão. Para a estimativa deste trabalho, utilizou-se  $\alpha = 55^\circ$ .

Esta estimativa permitiu determinar que a magnitude de carregamento proveniente da edificação que chega até a cortina era de  $17 \text{ kN/m}^2$ . Além disso, obteve-se o valor de 10 m como a profundidade a partir da qual a estrutura de contenção começaria a receber carregamento do edifício.

Desta maneira, aplicou-se no modelo estrutural o empuxo proveniente da sobrecarga do edifício com base nestes resultados.

## 4.4 Concepção do modelo numérico de elementos finitos

O modelo numérico foi concebido em um *software* que permite simular as etapas construtivas. O modelo constitutivo adotado foi o elástico linear perfeitamente plástico, com critério de plastificação de Mohr-Coulomb. A malha utilizada no programa é descrita como de



média densidade, sendo refinada manualmente na região de ancoragem e próximo a tubulação. Os carregamentos externos inseridos foram do tipo distribuído e estático.

Os tirantes foram simulados pela união de duas partes, o comprimento ancorado e o comprimento livre. O bulbo foi modelado como um corpo envolto em calda de cimento informando a rigidez axial e o comportamento do tipo do material como elástico. No caso do comprimento livre há a entrada dos mesmos parâmetros e adicionalmente o valor do espaçamento horizontal entre tirantes. Hipóteses de simulação similares foram utilizadas por Conceição (2015) e Reffatti (2002) mostrando-se satisfatórias.

Em relação à geometria do modelo, a parede diafragma tem espessura de 0,50 m e, para atender aos empuxos existentes foram adicionadas quatro linhas de tirantes, todas com o comprimento livre de 12 m e de ancoragem de 6 m, compostos por barras de 32 mm. A primeira linha de tirantes dista 1,50 m da superfície e os tirantes são espaçados verticalmente entre si com 2,50 m e horizontalmente de 1,50 m como apresentado na Figura 2.

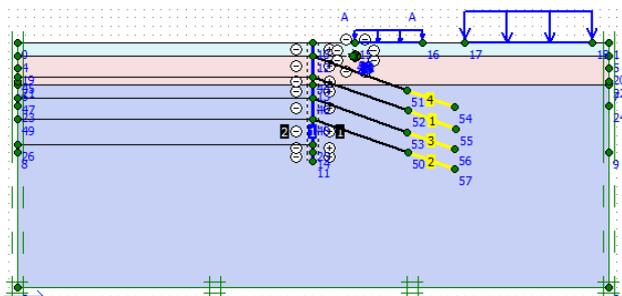


Figura 2. Configuração do modelo numérico.

### 4.3 Concepção do modelo estrutural

Para criação do modelo estrutural bidimensional, foi utilizado o *software* de análise de pórticos planos *Ftool*, versão 4.00 (FTOOL, 2016). O modelo criado seguiu a mesma geometria da contenção apresentada para o modelo de elementos finitos. Nesta modelagem, a qual se baseou no trabalho de

Mota, Bernandes e Dell'Avanzi (2016), tanto os tirantes como o paramento de concreto são considerados como sendo elementos de corpo rígido. As propriedades atribuídas a estes elementos estão apresentadas na Tabela 1.

A seção de concreto foi definida como 0,50 m x 1,50 m para representar, respectivamente, a espessura da parede e o espaçamento adotado entre as linhas de tirantes.

Tabela 1. Propriedades dos materiais atribuídas aos elementos da contenção modelada no *Ftool*

| Elemento                     | Paramento       | Tirante |
|------------------------------|-----------------|---------|
| Material                     | Concreto        | Aço     |
| Módulo de elasticidade (MPa) | 31.680          | 210.000 |
| Seção                        | 0,50 m x 1,50 m | 32 mm   |

No caso dos tirantes, foi ainda atribuído em sua extremidade ancorada a condição de apoio de 2º grau, isto é, apoio que restringe tanto deslocamentos horizontais quanto verticais. Além do mais, o comprimento adotado para os tirantes é equivalente apenas a sua região livre, não incluindo o comprimento ancorado.

Já para o caso da extremidade inferior da ficha, adotou-se como estando apoiada sobre um apoio de 1º grau, permitindo a ocorrência de deslocamentos horizontais, uma vez que uma cortina atirantada é classificada como uma contenção flexível.

A Figura 3 ilustra esquematicamente a contenção construída no *Ftool*. O carregamento distribuído, esquematizado por meio de setas horizontais mostrado na Figura 3, foi aplicado e obtido por meio do cálculo de empuxos, cuja descrição foi realizada anteriormente.

Por fim, o empuxo passivo é representado na Figura 3 através de um conjunto de molas, as quais são igualmente espaçadas e possuem rigidez definida. Para obtenção desta rigidez, utilizou-se a Equação 2, adotando-se molas espaçadas em 0,50 m, com a adoção dos valores de cálculo expressos na Tabela 2.



Tabela 2 – Cálculo do coeficiente de mola para simulação do empuxo passivo

| Mola | L (m) | A (m) | k (kN/m) |
|------|-------|-------|----------|
| 1    | 2,40  |       | 664      |
| 2    | 1,60  | 60    | 1350     |
| 3    | 0,80  |       | 2700     |

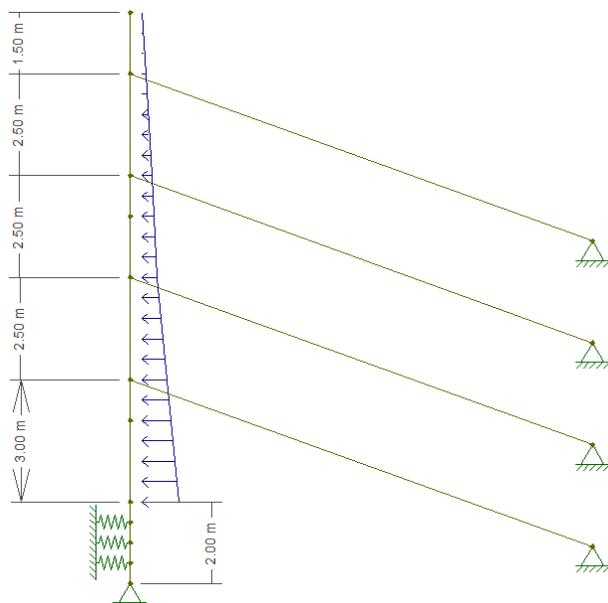


Figura 3. Estrutura modelada no *software* Ftool.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Deslocamentos horizontais e momentos fletores da parede

Através da Figura 4 observa-se que o deslocamento obtido com o programa *Ftool* seguiu uma linearidade dos valores, partindo de próximo de 0 mm na superfície do terreno natural e chegando a 35 mm no pé da ficha da parede diaphragma, onde obteve seu valor máximo. Já os deslocamentos resultantes da análise com elementos finitos não acompanhou uma tendência, partindo de aproximadamente 32 mm na superfície do terreno natural e chegando a 20 mm no final da contenção. Neste caso, o máximo deslocamento foi também de 35 mm, porém atingiu-se na profundidade de 1,50 m que corresponde a distância média da altura entre o último tirante e o nível do terreno cortado.

A existência de deslocamentos desde de o

topo da contenção no *software* de elementos finitos pode ser explicado pelo fato de ser possível a região ancorada sofrer deformações, o que não ocorre no *Ftool*, em que a ancoragem é modelada como apoio de segundo gênero (o qual restringe deslocamentos verticais e horizontais).

Verifica-se que o ponto no qual há igualdade de valores de deformação corresponde a cota de 0 m, isto é, início da ficha. Este ponto apresentou deslocamento de 30 mm em relação à sua posição indeformada.

Em relação à análise dos momentos fletores resultantes na parede, encontrou-se uma incompatibilidade entre valores fornecidos pelos *softwares* utilizados. Ao passo que o *Ftool* apresentou valores elevados quando comparado com os valores do *software* de elementos finitos devido à restrição de movimentação imposta pelo *Ftool*. Fuentes (2016) obteve esse mesmo comportamento em seu estudo, justificando que o *Ftool* não possui um comportamento realista ao não considerar o efeito da ancoragem.

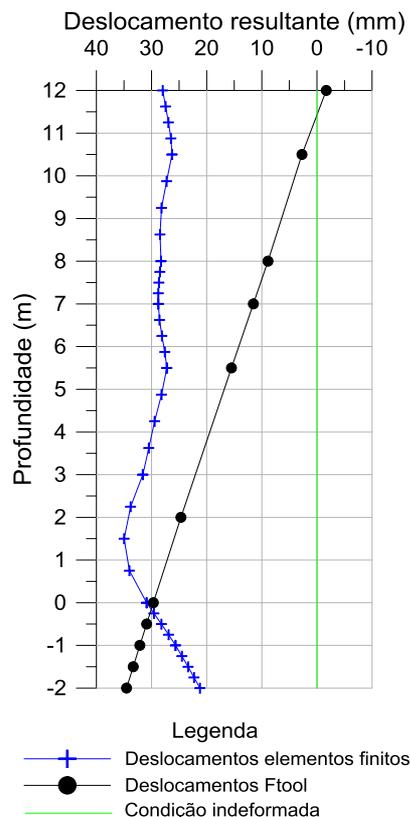




Figura 4. Comparação entre os deslocamentos obtidos pelo *Ftool* e pelo *software* de elementos finitos.

## 5.2 Análise sobre o uso de *softwares* de elementos finitos

O *software* de elementos finitos, por considerar as fases de construção e a análise tensão *versus* deformação do solo, apresenta algumas vantagens em relação ao *Ftool*.

A Figura 5 mostra uma representação comparativa dos deslocamentos horizontais ocorridos no modelo após a finalização de todas as etapas construtivas. Através da intensidade da cor tem-se noção do deslocamento horizontal e, quanto mais próximo da tonalidade vermelha estiver esta representação, maior foi o deslocamento sofrido nesta região em relação aos demais pontos analisados. O deslocamento horizontal máximo apresentado na Figura 5 foi de 34,97 mm. Este deslocamento horizontal máximo encontra-se entre o nível do terreno a jusante da contenção e o último tirante inserido no terreno, mesmo lugar de máximo deslocamento da parede apresentado na Figura 4. Percebe-se que as duas linhas de tirantes superiores tiveram maior deslocamento quando comparado com as demais linhas, sendo possível um novo arranjo geométrico para diminuir os deslocamentos nesta região. As possibilidades seriam de aumentar o comprimento ancorado ou incrementar a tensão de protensão, o que pode ser menos viável para este caso. A região próxima ao duto de água apresentou um deslocamento horizontal na ordem de 30,36 mm.

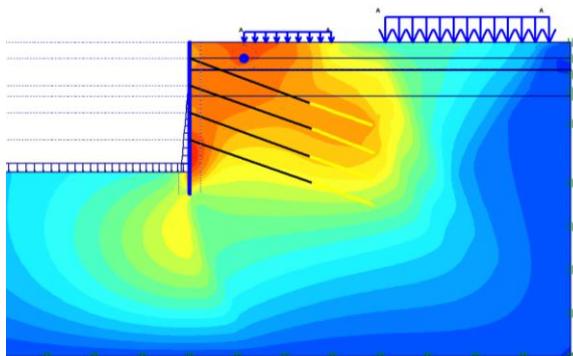


Figura 5. Representação comparativa dos deslocamentos horizontais ocorridos no modelo numérico.

O *software* de elementos finitos se destaca por possibilitar a análise de deformações nas proximidades das obras de engenharia. Por exemplo, como relatado anteriormente, a fundação da rodovia, por estar próxima à parede e à tubulação de água, mostra-se um lugar com grande deslocamento horizontal.

Com o uso do modelo numérico ainda se obtêm possíveis pontos de plastificação do solo, como mostrado na Figura 6. Estes locais são expressos através de pontos vermelhos e quanto maior sua presença, maior a possibilidade de ocorrer plastificação do solo nesta região. A plastificação do solo ocorre após o “yield” ponto a partir do qual o material deixa de ter comportamento elástico. Ao analisar a Figura 6 percebe-se que há uma concentração desses pontos na região dos maiores deslocamentos. Além disso, verifica-se que as regiões da fundação da rodovia e da edificação também podem sofrer plastificação, bem como próximo a região de ancoramento.

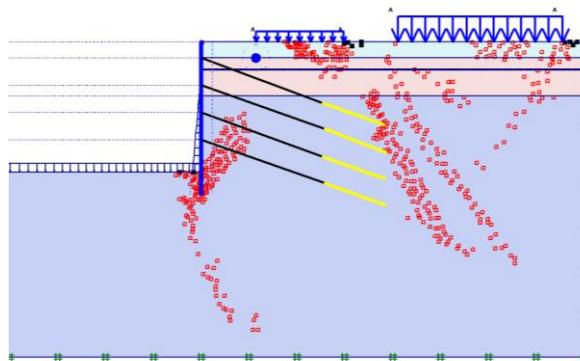


Figura 6. Representação dos possíveis pontos de plastificação existentes no modelo numérico.

A Figura 7 traz a representação do deslocamento vertical na área a montante da contenção. Por esta imagem verifica-se que o maior recalque foi obtido na região da fundação da edificação, a qual sofreria um recalque máximo de 45 mm, esta região é representada pela cor vermelha. A tonalidade verde apresentada na Figura 7 refere-se a um recalque



da ordem de 22 mm, na qual se encontra a parede diafragma. A tubulação de água, localizada na cor azul claro, tenderia a sofrer um recalque de 18 mm. Ao prever tais deformações e em caso de incompatibilidade dos deslocamentos aceitáveis pelas construções, o projeto precisará de ser revisto para que haja conformidade entre estas deformações.

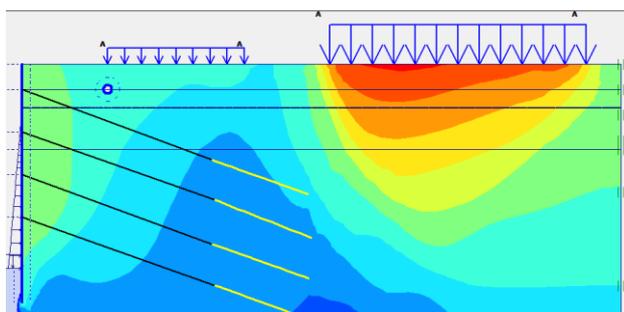


Figura 7. Detalhe da intensidade de deslocamento vertical na região das fundações da rodovia e edificação e da tubulação.

### 5.3 Comparação entre os *softwares*

Como apresentado anteriormente foram obtidos comportamentos com certas incompatibilidades. Isso se deu devido a alguns fatores. Primeiramente, em relação aos parâmetros de entrada utilizados pelos *softwares*. Enquanto o programa de elementos finitos emprega uma análise de tensão-deformação que necessita dos parâmetros elásticos do solo, como o módulo de elasticidade, o *Ftool* não os utiliza.

Importante ressaltar que a teoria de Rankine, utilizada para a obtenção dos empuxos, pressupõe que o atrito entre o solo e a parede é nulo. O programa de elementos finitos, por sua vez, possui uma variável referente a interação entre esses materiais. Outro fator que deve ser levado em conta está na forma de representação do solo a jusante da contenção, no *software* de pórticos planos este material é representado por um conjunto de molas com determinada rigidez. Por outro lado, no *software* de elementos finitos este solo é modelado através dos parâmetros de resistência e de elasticidade.

## 6 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma análise comparativa de uma estrutura de contenção por meio de dois métodos de modelagem distintos: elementos finitos e pórticos planos. Por meio destas duas metodologias, as quais foram simuladas por uso de *softwares* computacionais, foi possível a estimativa de deslocamentos ocorridos na parede de contenção. Para estes deslocamentos, verificou-se que houve razoável semelhança na ordem de grandeza obtida, apesar de haver uma distribuição discrepante ao longo da altura da cortina. O motivo desta diferença se deve à consideração de restrição de deslocamento no apoio que simula a ancoragem no *Ftool*. Ressalta-se também que em ambas as modelagens as paredes atuaram na fase elástica, devido aos pequenos deslocamentos.

Além disso, o resultado fornecido pelo método de elementos finitos permite uma maior aproximação com a real situação, por permitir simular as etapas construtivas. Entretanto, o método de pórticos planos, por sua facilidade de implementação e boa aproximação de resultados, pode ser uma ferramenta muito útil, principalmente para a fase de pré-dimensionamento.

Por fim, salienta-se que, independentemente do método de estimativa de deslocamento utilizado, é imprescindível o uso de instrumentação geotécnica, a fim de obter o monitoramento dos deslocamentos reais de campo e garantir a segurança e desempenho dessas estruturas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná (PPGECC-UFPR), à Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (Capes) e à Fundação Araucária por possibilitar tal estudo.



## REFERÊNCIAS

- Conceição, C. M. A. (2015). *Análise dos métodos para dimensionamento do bulbo de ancoragem de tirantes metálicos em solos*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense, Niterói/RJ, Brasil, 145 p.
- Das, B. M.; Sobhan, K. (2013). *Principles of geotechnical engineering*. 8.ed. New York, Cengage learning.
- Dywidag. (2017). *Sistemas de protensão de barras Dywidag – aplicações geotécnicas*. São Paulo: 2017. 12p.
- Fuertes, A.K. (2016). *Dimensionamento de uma estrutura de contenção de terras flexível com vários níveis de apoio*, Dissertação de Mestrado, Curso de Engenharia da Construção, Escola Superior de Tecnologia e Gestão Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 131 f.
- Hetland, J. (2015). *Numerical Modelling of a Pile Model Test with Focus on Small-strain Stiffness*. Dissertação de Mestrado, Curso de Civil And Environmental Engineering, Department Of Civil And Transport Engineering, Norwegian University Of Science And Technology, Trondheim, 143 f.
- Joppert, I. (2007). *Fundações e Contensões de Edifícios: qualidade total na gestão do projeto e execução*. 1.ed. São Paulo, Pini.
- Martha, L. F., *Ftool – Version 4.00.04*. Disponível em: <https://www.ftool.com.br>. 2018.
- Mikos, A. P. (2017). *Caracterização geotécnica de campo experimental para avaliação do método não destrutivo da resistência elétrica em solo grampeado*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba/PR, 138 p.
- Milititsky, J. (2016) *Grandes escavações em perímetro urbano*. São Paulo: Oficina de textos. 144 p.
- Mota, G.M., Bernandes, G.P. e Dell’Avanzi, E. (2016). *Modelling Teid-Back Walls By The Software Ftool*, *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 21, p. 1117-1124.
- Rankine, W. J. M. (1857) *On the Stability of Loose Earth*, *Philosophical Transactions, Royal Society*, Vol. 147, London.
- Reffatti, M. E. (2002). *Análise numérica de uma escavação de grande porte em Porto Alegre/ RS; Caso de obra*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, Brasil, 124 p.
- Solotrat. (2018). *Manual de Serviços Geotécnicos Solotrat*. 6ª ed. São Paulo: 2018. 120 p.
- Teixeira, M. dos S. (2015). *Cálculo estático em fachadas curtain wall*. Dissertação de Mestrado, Curso de Engenharia Mecânica – Produção industrial, Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Leiria, 88 f.
- Vargas, J.W.S. de. (2016). *Estudo da interação solo-estrutura em cortinas flexíveis com um nível de ancoragem*. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 140 f.
- Velloso, D. A.; Lopes, F. R.. (2012). *Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo e fundações superficiais*. 2. ed. São Paulo, SP: Oficina de Textos. xiii, 225 p. ISBN 9788579750144.
- Winkler, E (1867). *Die Lehre von der Elastizität und Festigkeit*. Prague: Dominicus.