

# Análise de Rebaixamento de Lençol Freático Utilizando o Método dos Elementos Finitos

Fernanda Grillo

Universidade Positivo, Curitiba, Brasil, fernandagrillo.fg@hotmail.com

Larissa Susane Lombardo

Universidade Positivo, Curitiba, Brasil, larissaslombardo@gmail.com

Leticia Vier Ribeiro

Universidade Positivo, Curitiba, Brasil, leticiavier@hotmail.com

Pablo Fernando Sanchez

Universidade Positivo, Curitiba, Brasil, pablosanchez@up.edu.br

**RESUMO:** A concentração de pessoas nos centros urbanos e a procura por aproveitamento dos espaços fazem com que as edificações sejam construídas com pouco espaço entre si, fato que pode gerar interferências de um terreno para o outro, no caso de rebaixamento de lençol freático, recalques nas construções ao redor da obra. O rebaixamento de lençol freático é necessário para garantir estabilidade e viabilidade em casos em que o nível da água se encontra acima da base em trabalhos como escavações e fundações superficiais. O dimensionamento de um sistema de rebaixamento de lençol freático é realizado por métodos empíricos e generalistas. Análises numéricas via método dos elementos finitos (MEF) têm sido utilizadas para problemas envolvendo fluxo em solos, onde é possível simular diversas condições de contorno. Este trabalho apresenta a análise do rebaixamento de lençol freático em construções urbanas utilizando métodos teóricos consagrados e análises de fluxo via MEF, dimensionando o sistema e propondo medidas preventivas a possíveis problemas relacionados, tomando como modelo geológico-geotécnico uma obra na cidade de Curitiba-PR. Como resultados, foram observadas as principais diferenças entre os dimensionamentos feitos com os dois métodos, assim como o comportamento do lençol freático quando variadas algumas condições de contorno. O método analítico apresenta limitações como a impossibilidade de se avaliar solos estratificados por se tratar de um modelo geral e empírico. As diferenças que mais chamaram atenção foram em relação às possibilidades que o método numérico proporciona. Isto reforça a importância de entender o que a simulação de um caso real fornece como resultados e de usá-los em conjunto a teorias conceituadas, podendo ser uma poderosa chave na resolução de problemas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Rebaixamento de Lençol Freático, Sistema de Ponteiros Filtrantes, Método dos Elementos Finitos.

## 1 INTRODUÇÃO

Quando uma escavação atinge o nível d'água e se torna necessário executar qualquer serviço a seco, é preciso esgotar a água desse local. Os processos utilizados para essa finalidade são

objeto do que se denomina rebaixamento temporário do nível freático (ALONSO, 2007).

Este trabalho realiza e explora o dimensionamento de sistemas de rebaixamento de lençol freático por um Método Analítico consagrado, o mais utilizado atualmente apesar

de algumas limitações e faz uma comparação com simulações de fluxo realizadas em programa computacional pelo Método dos Elementos Finitos. Para isto, são utilizados como exemplo os dados geométricos e geológico-geotécnicos de uma obra situada na cidade de Curitiba – PR.

## 2 OBJETIVO

Analisar o rebaixamento de lençol freático em construções urbanas utilizando métodos teóricos consagrados e o método dos elementos finitos, identificando vantagens e desvantagens dos métodos utilizados a fim de compará-los, assim como apontar soluções e medidas paliativas ou preventivas para possíveis problemas.

## 3 REVISÃO DA LITERATURA

### 3.1 Rebaixamento do Lençol Freático

Segundo Grandis (1998), o controle da água subterrânea facilita a construção de estruturas que se encontram sob o nível d'água pelos fatores a seguir:

- Interceptar a percolação da água que emerge nos taludes ou no fundo de escavações. A água prejudica os processos construtivos e pode ser fator impeditivo ou de considerável aumento de custos de uma construção enterrada.
- Aumentar a estabilidade dos taludes e evitar o carregamento hidráulico do solo dos taludes e do fundo da escavação.
- Reduzir a carga lateral nos escoramentos.
- Aliviar a poro-pressão.
- Eliminar ou reduzir a necessidade de se empregar ar comprimido em túneis.
- Melhorar as condições de escavações e reaterro.
- Permitir manter quase inalteradas as condições de suporte do terreno localizado subjacente ao apoio da estrutura a ser construída.

A profundidade da obra a ser executada juntamente com o método escolhido são fatores que caracterizam o efeito da água na estabilidade da escavação, sendo estes, itens de maior importância na escolha do método executivo (MÜLLER, 2004).

O rebaixamento de lençol freático, independentemente do método utilizado impõe uma diminuição das pressões neutras no solo e como resultado obtém-se um aumento da pressão efetiva que muitas vezes causa recalques às estruturas circundantes por influência do rebaixamento, em especial quando assentadas sobre solos compressíveis como argilas moles e areias fofas ou em casos onde a fundação é superficial. Dessa maneira, todo projeto de rebaixamento de aquífero necessita de um estudo prévio dos recalques dessas estruturas. É conveniente acompanhar o andamento do rebaixamento com instrumentos que permitam o controle e comparação com o previsto em projeto. Esse controle é realizado por meio de médias de recalques nas construções vizinhas com a instalação de pinos de recalque (ALONSO, 2007).

### 3.2 Sistemas de Rebaixamento de Lençol Freático

De acordo com Grandis (1998), o sistema de rebaixamento de lençol a ser utilizado deve ser escolhido essencialmente considerando os danos ou interferência que o fluxo pode causar à obra.

A seguir, apresentam-se alguns dos sistemas usuais para rebaixamento de lençol freático:

- Bombeamento direto ou “Esgotamento de vala”: Segundo Alonso (2007), é considerado o sistema de rebaixamento de lençol freático mais simples de todos. Fundamenta-se na extração da água através de valetas, executadas no fundo da escavação, ligadas a poços feitos em lugares estratégicos, onde a água acumulada é bombeada para fora da área de trabalho.
- Ponteiras filtrantes (“well-points”): Conforme Alonso (2007), é basicamente a disposição de um tubo coletor ao longo da periferia da área a rebaixar, dotado de tomadas de água. A água retirada pelas ponteiras filtrantes é encaminhada pelo tubo coletor até a câmara de vácuo, ligada a uma bomba de vácuo onde a água é recalçada para fora da obra.
- Poços profundos: Foi desenvolvido para superar as limitações do sistema anterior quanto à profundidade. Existem dois tipos, com uso de injetores e de bombas de recalque submersas de

eixo vertical. O primeiro trabalha em circuito semifechado onde a água é injetada por uma bomba centrífuga através de uma tubulação horizontal que possui saídas onde se conectam os tubos de injeção que levam a água sob alta pressão até o injetor instalado no fundo do poço. A água injetada passa pelo bico Venturi do injetor e é acrescida pela água aspirada do solo, subindo por um tubo de retorno com diâmetro ligeiramente maior que o anterior, até a superfície. É adequado para bombeamento de vazões de pequeno a médio porte. O mesmo ocorre com o sistema de bombas, em que as mesmas são instaladas dentro do tubo-filtro, porém, sendo este mais indicado para vazões maiores e grandes profundidades.

### 3.3 Simulações Numéricas

Os sistemas específicos para engenharia geralmente são implementados com métodos numéricos capazes de solucionar problemas multi-físicos e de multi-escala. Os métodos numéricos mais usados em modelagens e simulações de engenharia são: o Método das Diferenças Finitas (MDF) e o Método dos Elementos Finitos (MEF) (PEREIRA, 2009).

O método dos elementos finitos tem como principal objetivo a aproximação na solução de problemas descritos tanto por equações diferenciais ordinárias quanto por equações diferenciais parciais, dividindo o meio contínuo em regiões menores, ou seja, dividir o domínio em subdomínios mais simples (CORREA, 2006). As simulações por este método tendem a simplificar o comportamento de problemas reais, pela adoção de um modelo matemático, que pode abranger soluções para fluxo em solo, escavações, fundações e comportamentos hidráulico-mecânicos (HUERTAS, 2006).

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Introdução

A metodologia utilizada neste trabalho consiste na análise e simulação de rebaixamento do lençol freático da obra de um edifício real, com base em concepções teóricas obtidas em pesquisas a livros, artigos, textos, dissertações e

consultas a empresas de geotecnia e construtora. A simulação do rebaixamento é baseada em dois procedimentos: Método Analítico e Método dos Elementos Finitos com o programa SEEP – GeoStudio - versão educacional e gratuita.

### 4.2 Características da Obra Analisada

#### 4.2.1 Características Gerais

A obra utilizada como modelo está localizada no bairro Portão na cidade de Curitiba. Três torres compõem a obra, que tem finalidade residencial, sendo uma com 27 pavimentos e duas com 21 pavimentos e subsolo integrado. Esta obra foi recentemente concluída. Seu terreno possui 15.731 metros quadrados e, com objetivo de mostrar as potencialidades do programa, foi analisada uma área de escavação de 70 metros de comprimento por 45 metros de largura. A área considerada compreende a maior torre e também o salão de festas e piscina.

Foi usada nas simulações uma profundidade da linha freática de 1 metro, já que as sondagens realizadas indicaram certa variação da posição do NA ao longo do tempo, para que fosse analisada uma situação bastante crítica e as potencialidades das simulações pudessem ser melhor exploradas. Foi desconsiderada a possível direção do fluxo d'água, sendo adotado um nível crítico do NA, próximo à superfície, em todos os lados da escavação.

#### 4.2.2 Características Geológico-Geotécnicas

Para conhecimento do tipo de solo, resistência e posição do nível d'água do local, foram feitas sondagens à percussão (SPT) nos meses de junho e setembro de 2010, antecedentes à escavação. Os relatórios com os dados obtidos nos ensaios apontam solo predominantemente argiloso. Para correta caracterização e enriquecimento das informações geológico-geotécnicas, foram feitos ensaios de granulometria, limites de consistência e de permeabilidade. As amostras foram retiradas no mês de agosto de 2014, nas proximidades do muro que delimita o fundo do terreno.

## 4.2 Análises do Rebaixamento

### 4.3.2 Método Analítico

Considerando o tipo de solo e as dimensões de grandes proporções da escavação, o sistema de rebaixamento adotado para as simulações é o Sistema de Rebaixamento com Ponteiros Filtrantes (*well-points*) pois, de acordo com Grandis (1998), este método se mostra eficaz na ocorrência de solos argilosos e consegue um rebaixamento da ordem de 5 metros.

O dimensionamento inicia-se com o cálculo da vazão necessária para sustentar o rebaixamento, feito a partir da equação de Darcy e da hipótese de Dupuit (equação 1.0), em que se considera apenas a direção horizontal do fluxo, desprezando-se a componente vertical da velocidade.

$$Q = \frac{k \cdot \pi (H^2 - h_d^2)}{\frac{\ln R}{r_p}} \quad (1)$$

Em que:

Q = Vazão total do sistema

k = coeficiente de permeabilidade do solo

H = Altura entre o impermeável e o nível da freática antes do rebaixamento

h<sub>d</sub> = Altura entre o impermeável e o nível da freática rebaixada

R = Distância que o rebaixamento deixa de influenciar na freática

r<sub>p</sub> = Raio do poço equivalente

Para determinação da vazão é necessário o conhecimento da distância que o rebaixamento deixa de influenciar na freática e do raio do poço equivalente. Estes valores são determinados por meio das equações 2.0 e 3.0.

$$R = 3000(H - h_d)\sqrt{k} \quad (2)$$

R = Distância em que o rebaixamento deixa de influenciar na freática

H = Distância entre a camada impermeável e a freática antes do rebaixamento

h<sub>d</sub> = Distância entre a camada impermeável e a freática já rebaixada

k = Coeficiente de permeabilidade

$$r_p = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (3)$$

No caso de grandes áreas (em planta) a rebaixar, para cálculo do abatimento da freática é usada a expressão 4.0:

$$\Delta h_p = \sqrt{\frac{Q_w \ln a}{k \cdot \pi \cdot r_w}} \quad (4)$$

Q<sub>w</sub> = Vazão de cada poço

k = Coeficiente de permeabilidade

a = Espaçamento entre os poços

r<sub>w</sub> = Raio de cada poço

Alonso (2007) aponta uma sugestão para o cálculo do abatimento da freática pela equação 5.0, que pode ser utilizada para grandes áreas de escavação, como o caso analisado:

$$\Delta h_p = \sqrt[3]{\frac{R^2}{345600 \cdot k}} \quad (5)$$

R = Distância em que o rebaixamento deixa de influenciar na freática

k = Coeficiente de permeabilidade

Considerando que todos os poços sejam iguais e estejam distribuídos ao longo da poligonal, tem-se que a vazão e o raio de cada um deles também são iguais.

$$Q_p = \frac{2 \cdot \pi \cdot r_w \cdot h_f \cdot \sqrt{k}}{15} \quad (6)$$

Q<sub>p</sub> = Vazão de cada poço

r<sub>w</sub> = Raio de cada poço

h<sub>f</sub> = Comprimento filtrante das ponteiros

k = Coeficiente de permeabilidade

A disposição das ponteiros é definida pelo número de ponteiros e pelo espaçamento entre elas.

$$n = \frac{Q}{Q_p} \quad (7)$$

$$E_{\text{ponteiras}} = \frac{2(b + l + P)}{n} \quad (8)$$

n = Número de ponteiras

Q = Vazão total

Qp = Vazão de cada poço

b = Largura da escavação

l = Comprimento da escavação

P = Perímetro da escavação

E<sub>ponteiras</sub> = Espaçamento entre as ponteiras

#### 4.4 Análise Utilizando o MEF

O SEEP/W é um programa da Geostudio que possibilita a modelagem numérica de problemas geotécnicos, simulando percolações de água subterrânea, a partir de análises por regiões e linhas que ilustram as camadas de solo. São aplicadas condições de contorno (potenciais hidráulicos) e indicadas as propriedades dos materiais. Vetores velocidade mostram a direção do fluxo, alterações na posição do lençol freático, pressões em cada nó, entre outros (SEEP/W 2008).

O modelo foi feito considerando a seção transversal de maior medida, o que representaria a condição crítica. O valor encontrado nos ensaios para o coeficiente de permeabilidade foi utilizado como dado de entrada nas características do solo aplicado na região. As condições de contorno aplicadas consistiram em: NA natural com profundidade de 1 metro, pressão zero na superfície, nos limites da escavação e nas ponteiras. Para obtenção de resultados, é necessário selecionar uma malha para definir a quantidade de nós e células das regiões. Este número é limitado a 500 elementos na versão educacional e por isso, alguns resultados, como a definição da linha freática, não são tão otimizados quanto poderiam ser na versão completa. Esta ação resultou em um número que variou entre 2 e 3 metros de espaçamento entre os nós, dependendo da simulação.

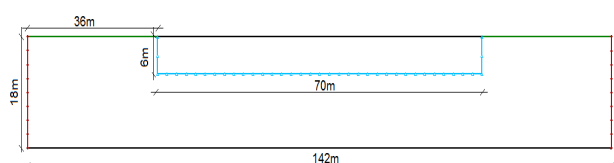


Figura 1. Dimensões do modelo.

Para a definição da distância das condições de contorno até a escavação foi utilizado o raio de influência obtido no método analítico (36 metros). Foram inseridas informações do solo de acordo com a estratigrafia. Neste caso, apenas uma região foi utilizada, inserindo-se então seu coeficiente de permeabilidade. A partir desta base pronta, pôde-se dar início às simulações variando diversas condições, descritas a seguir.

##### 4.4.1 Modelo Sem Rebaixamento

O primeiro modelo foi feito sem nenhum sistema de rebaixamento, ou seja, se a escavação fosse feita e nenhuma providência anterior fosse tomada para o controle da água subterrânea. Pode ser vista a malha e as condições de contorno, em cores diferentes na figura a seguir. Em azul, nos entornos da escavação, está a condição de contorno de pressão zero, uma condição conservadora já que o bombeamento resultaria em uma pressão negativa. Em vermelho, a condição de contorno do nível freático a 1 metro de profundidade.

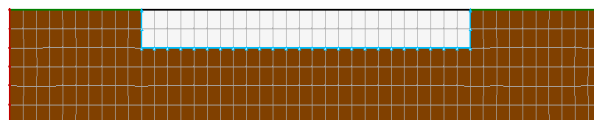


Figura 1. Modelo para simulação sem rebaixamento.

##### 4.4.2 Modelo Com os Resultados do Método Analítico

Este modelo serviu para uma comparação entre o que o método analítico forneceu como dimensionamento e uma linha freática possivelmente otimizada, simulada diretamente no SEEP/W.

Ao fim de cada poço ficam localizadas as ponteiras que no modelo são representadas por meio de uma condição de contorno de pressão zero e respeitando o comprimento filtrante adotado no modelo analítico, de 1 metro, que tem seu ponto médio no fim do comprimento calculado para abatimento da freática, como visto na figura 3.

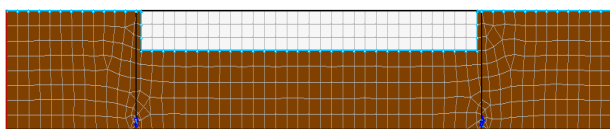


Figura 2. Modelo para simulação dos resultados do método analítico.

#### 4.4.3 Modelo Para a Obra Exemplo

Com o modelo dos resultados do método analítico realizado, o passo seguinte foi a variação da profundidade da ponteira, para atingir um abatimento suficiente da freática, adotado de 1 metro. Desta forma, seria possível verificar se o método analítico foi suficiente ou superdimensionado, já que utiliza hipóteses simplificadoras. O comprimento necessário pode ser visto na figura 4 e nos resultados.

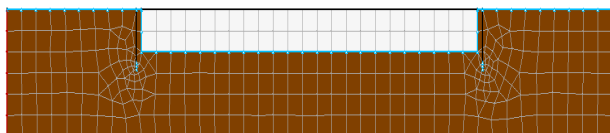


Figura 3. Modelo para a obra exemplo.

#### 4.4.4 Modelo Com Poços de Recarga

As referências utilizadas neste trabalho informam que o rebaixamento pode gerar interferências em construções vizinhas, principalmente em áreas residenciais, onde as fundações são rasas, e em alguns tipos de solo mais permeáveis, em que a distância de influência do rebaixamento é maior, e pelo efeito do adensamento, atingir construções ao redor da escavação. Por este motivo, a proposta deste trabalho para minimizar os efeitos do rebaixamento nos entornos são os poços de recarga, que injetam água no sistema e fazem com que a linha freática permaneça com maior estabilidade e rebaixe mais próximo à escavação.

Foram realizadas modelagens com poços de recarga (figura 5), buscando-se o melhor resultado, ou seja, aquele em que a freática ficou com o mínimo rebaixo nos limites do terreno sem interferir na escavação.

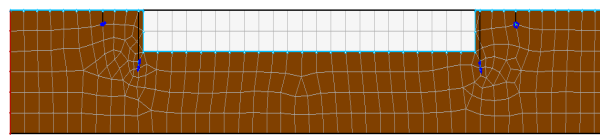


Figura 4. Modelo com poços de recarga.

#### 4.4.5 Modelo Com Dois Tipos de Solo

O principal motivo da realização desta modelagem é o fato de que o método analítico não permite a análise de dois tipos de solo, mostrando uma grande vantagem do método computacional. Quando se trata de dois ou mais tipos de solo, com coeficientes de permeabilidade diferentes entre si, o fluxo apresenta uma característica particular.

Para a modelagem utilizando dois tipos de solo, variou-se o coeficiente de permeabilidade para que fosse possível analisar o comportamento da água e do sistema de rebaixamento. A limitação entre os dois tipos de solo consta na figura 6.

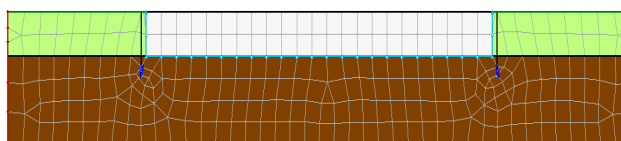


Figura 5. Modelo com duas camadas de solo diferentes.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Resultados do Método Analítico

Realizado o procedimento de cálculo sugerido por Alonso (2007), foram obtidos como resultados para o caso apresentado uma vazão para o sistema de  $1,91 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ , o raio de poço equivalente de 32,8m, a necessidade de 126 ponteiras espaçadas de 1,9m e um rebaixamento do lençol freático de 9,78m. Percebe-se que o abatimento da freática oferecido pelos cálculos foi elevado.

#### 5.1.1 Simulação Utilizando o MEF – Sem Rebaixamento

Verificou-se que haveria a presença de água durante a escavação. O valor obtido para a vazão foi de  $3,51 \text{ m}^3/\text{h}$ .

### 5.1.2 Simulação Utilizando o MEF – Modelo Com os Resultados do Método Analítico

O resultado da simulação foi um rebaixamento superdimensionado, ou seja, rebaixou-se além do necessário. Isto aponta que o comprimento da ponteiros poderia ser menor, diminuindo os custos. Os valores encontrados para a vazão retirada por ponteira a cada metro é  $3,0152\text{E-}5\text{ m}^3/\text{s}$  e para o abatimento da freática é de  $9,87$  metros.

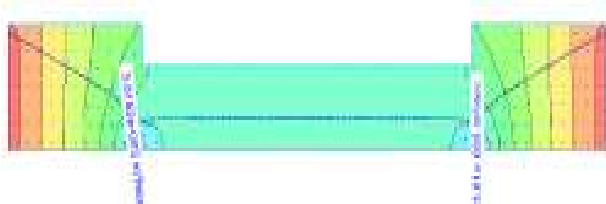


Figura 7. Análise de rebaixamento com os resultados do método analítico.

### 5.1.3 Simulação Utilizando o MEF – Modelo Para a Obra Exemplo

Foram utilizados os resultados do método analítico: comprimento dos poços de  $9,5\text{m}$  desde a superfície até o fim da ponteira. Descontando-se  $6\text{m}$  da escavação e  $1\text{m}$  que foi buscado entre a freática e o fundo da escavação, o abatimento da freática resultou em  $2,5\text{m}$ . A vazão retirada é de  $12,88\text{m}^3/\text{h}$ . Conservando as considerações bibliográficas, chegou-se em  $129$  ponteiros, espaçadas entre si  $1,80$  metros.

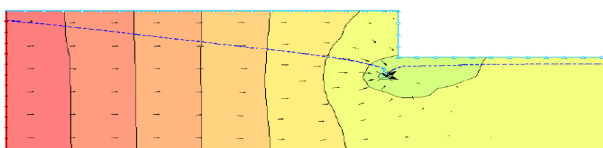


Figura 8. Detalhe do rebaixamento.

É possível observar uma diferença entre os dimensionamentos obtidos pelos dois métodos. Para melhor visualização, a tabela 1 apresenta os valores de vazão e de número de ponteiros obtidas pelo método analítico e também pela simulação.

Tabela 1. Comparativo dos resultados.

| Resultados                                       | Método Analít. | MEF    |
|--------------------------------------------------|----------------|--------|
| Vazão Total do Sistema ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) | 75,96          | 64,4   |
| Vazão 1 Ponteira ( $\text{m}^3/\text{h}$ )       | 0,60           | 0,50   |
| Abatimento da Freática (m)                       | 9,78           | 2,50   |
| Profundidade da Ponteira (m)                     | 16,78          | 9,50   |
| Número de Ponteiros                              | 126,00         | 129,00 |
| Espaçamento de Ponteiros (m)                     | 1,90           | 1,80   |

Os resultados da Tabela 1 sugerem uma breve vantagem em termos de economia e precisão do MEF.

### 5.1.4 Simulação Utilizando o MEF – Simulação Com Poços de Recarga

Na simulação com poços de recarga foi observada uma considerável mudança do fluxo de água. O NA ficou próximo do natural e o maior rebaixamento a montante do poço foi de  $1,2\text{m}$ . A distância otimizada encontrada para o poço de recarga foi  $9\text{m}$  da borda da escavação, com  $1\text{m}$  de profundidade. A vazão necessária para recarga do lençol foi de  $8,69\text{E-}6\text{m}^3/\text{s}$  e uma vazão de  $2,34\text{E-}5\text{m}^3/\text{s}$  retirada pelas ponteiros. O comportamento da linha freática após a inserção do poço de recarga pode ser observado na figura a seguir.



Figura 9. Simulação para poço de recarga.

### 5.1.5 Simulação Utilizando o MEF – Simulação com Dois Tipos de Solo

Para a simulação com dois tipos de solo foi utilizado o coeficiente de permeabilidade de  $4\text{E-}6\text{m/s}$ , e outro solo com coeficiente de permeabilidade arbitrado de  $1\text{E-}6\text{m/s}$ . Nota-se que o sistema já dimensionado foi suficiente, apesar da vazão de cada ponteira ter mudado sensivelmente, isto porque os coeficientes de permeabilidade não têm valores muito distantes.

Na análise de uma situação em que os coeficientes são bastante diferentes, como na ocorrência de lentes de areia, a variação da profundidade das ponteiros não foi o bastante para retirar a água da escavação. Este resultado mostra que para solos com permeabilidades

muito diferentes o sistema de rebaixamento de ponteiros filtrantes não foi suficiente. Neste caso, a alternativa poderia ser um sistema intermediário de ponteiros ou até mesmo o emprego de outro método de rebaixamento.

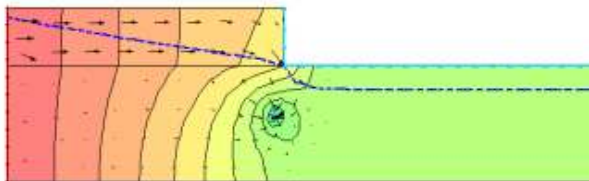


Figura 10. Simulação variando os coeficientes de permeabilidade.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como resultados, foram observadas as principais diferenças entre os dimensionamentos realizados com o método analítico e o método dos elementos finitos, assim como o comportamento da elevação do lençol freático quando variadas as condições de análise.

O método analítico admite parâmetros importantes que definem o comportamento da água no solo, como o coeficiente de permeabilidade. Porém, apresenta limitações como a impossibilidade de se avaliar solos estratificados por se tratar de um modelo geral e empírico, sem entrar no detalhamento de cada caso. O resultado da simulação com os dados do método analítico confirmou sua eficácia e deixou claro que o abatimento da linha freática, apesar de válido, poderia ser menor. Pode-se considerar que o método se mostrou conservador.

Pôde-se verificar que o método analítico e numérico oferecem resultados gerais coerentes. As diferenças que mais chamam a atenção são relacionadas às possibilidades que as simulações computacionais proporcionam. Esta diversidade é uma importante ferramenta na tomada de decisões dos profissionais geotécnicos, reforçando a importância de se entender o que a simulação fornece e de usá-las em conjunto as teorias consagradas.

## REFERÊNCIAS

Alonso, U. R. (2007). *Rebaixamento Temporário de Aquíferos*. São Paulo: Oficina de textos.

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). *Solo- Determinação do Limite de Liquidez*. NBR 6459.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (1988). *Solo - Determinação do Limite de Plasticidade*. NBR 7180.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2000). *Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável*. NBR 14545.
- Caputo, H. P. (1996). *Mecânica dos Solos e suas Aplicações*. Vol. 1 e 2, 6ª Edição, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
- Corrêa, R. A. (2006). *Estudo de rebaixamento do lençol d'água em arenito para implantação de estruturas PCH's*. Mestrado em Engenharia Civil UFRJ.
- Dobereiner, L e Vaz, L. F. (1998). *Tratamento de Maciços Naturais In Geologia de Engenharia*. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia – ABGE, 1ª edição, São Paulo.
- Grandis, I. (1998). *Rebaixamento e Drenagem In Fundações – Teoria e Prática*. 2ª edição, Pini, São Paulo.
- Huertas, J. R. C. (2006). *Modelagem Numérica de Fluxo 3D em Meios Porosos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Geotecnia), Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- Lima, J. B.; Galvão, M. J. T. G. et al. (1998). *Noções básicas sobre poços tubulares: Cartilha informativa CPRM*.
- Lobão, E. C. e Porto, A. J. V. (1996). *Evolução das técnicas de simulação em acordo com a tecnologia*. Anais do XVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP, Piracicaba.
- Müller, M. C. N. (2004). *Rebaixamento de lençol freático: Indicações, métodos e impactos decorrentes*. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil – Anhembi Morumbi, São Paulo.
- Oliveira, V. S. (2006). *Análise de estabilidade bi e tridimensional de talude estabilizado em solo grampeado*. Trabalho de conclusão de curso de pós-graduação em Engenharia Civil – UFSC, Florianópolis.
- Pereira, A. M. B. (2009). *Simulações Computacionais em engenharia*. Revista Memo, edição nº 6, Departamento de Sistemas Computacionais UFF.
- Pinto, C. D. (2006). *Curso Básico de Mecânica dos Solos*. Oficina de textos, São Paulo.
- SEEP/W (2008). *Chapter 2: Numerical Modeling manual*.
- Souza, R.M. (2003). *O método dos elementos finitos aplicado ao problema de condução de calor*. Notas de aula, Universidade Federal do Pará, Núcleo de instrumentação e computação aplicada à engenharia.
- Trescott, P.C. (1975). *Documentation of Finite Difference Model for Simulation of three dimensional Ground-Water Flow*. U.S. Geol. Survey Open File Report.