

Elaboração de Modelo Físico Didático para Estudo de Areia Movediça

Bruno Ken Marchezepe

Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos - SP, Brasil, bruno.marchezepe@usp.br

Caio Corte da Silva

Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos - SP, Brasil, caio.corte.silva@usp.br

Tiago Fedrizzi

Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos - SP, Brasil, tiago.fedrizzi@usp.br

Luiz Gustavo Buzon

Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos - SP, Brasil, luiz.buzon@usp.br

Oscar dos Santos Neto

Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos – SP, Brasil, osneto@gmail.com

Jefferson Lins da Silva

Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos - SP, Brasil, jeffersonlins@gmail.com

RESUMO: Acreditando-se que o ensino de qualquer assunto relacionado com Mecânica dos Solos pode ser facilitado e melhor compreendido ao unir-se teoria e prática, o presente trabalho trata da elaboração de um modelo físico que simule o fenômeno da areia movediça. O fenômeno da areia movediça ocorre quando partículas finas de areia são submetidas a um fluxo ascendente de água. Esse fluxo preenche o espaço entre as partículas, diminuindo o atrito entre elas e, dessa forma, desestabilizando o solo composto por tais agregados. Isso faz com que o solo se comporte como um líquido, podendo submergir (inteira ou parcialmente) corpos físicos que porventura estejam apoiados sobre ele. O modelo simulador deste fenômeno tem por objetivo auxiliar o aprendizado nas aulas de Mecânica dos Solos ministradas para os estudantes do 3º ano do curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. O modelo, além de demonstrar o fenômeno da areia movediça, se estende para o conceito da condutividade hidráulica de solos, porque possibilita a percepção da diferença entre a percolação da água em diferentes tipos de areia.

PALAVRAS-CHAVE: Areia Movediça, Permeabilidade, Modelo Físico.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Vargas (1978), o solo é composto por três fases distintas: a fase sólida, formada por partículas minerais e matéria orgânica, a fase líquida, formada pelo líquido intersticial, que preenche os vazios entre os grãos sólidos, e a fase gasosa, constituída pelo ar presente em solos que não estão completamente saturados de

água. Dependendo da granulometria do solo, a fase líquida, principalmente, pode estar mais ou menos livre. Quanto menor o tamanho dos grãos, menores serão os espaços vazios entre eles, gerando alta força atrativa entre as moléculas das fases líquida e sólida. Essa atração dificulta o movimento da água pelo solo. Assim, solos argilosos possuem menor

capacidade de percolação da água, e são menos permeáveis que solos arenosos, por exemplo.

Segundo Marangon (2009), permeabilidade é a propriedade que o solo apresenta de permitir o escoamento da água através dele, sendo o grau de permeabilidade expresso numericamente pelo “coeficiente de condutividade hidráulica”. Fatores como temperatura, granulometria do solo, índice de vazios e grau de saturação influenciam no valor do coeficiente de condutividade hidráulica para cada solo.

No caso da areia, ainda segundo Vargas (1978), a água pode estar em equilíbrio hidrostático, armazenada, ou fluindo através dos vazios. As argilas, por outro lado, impedem um maior movimento dos líquidos intersticiais. Desta forma, solos arenosos ficam muito mais suscetíveis a um fenômeno popularmente conhecido como areia movediça, que podem submergir objetos que estejam apoiados sobre o solo. Esse fenômeno ocorre por causa de fluxos ascendentes de água, sejam naturais (nascentes de rios, por exemplo) ou de causa antropológica (rompimento de adutora, por exemplo). A água move-se com facilidade no solo arenoso e acaba por saturá-lo. Com o fluxo contínuo, a fase líquida do solo fica tão excessiva que desestabiliza a força de atrito entre os grãos e acaba por transformá-lo em um fluido viscoso, e que submerge inteiramente objetos mais densos que este fluido, e parcialmente objetos menos densos. Já que humanos são menos densos que o fluido, não há razão para a crença popular de que pessoas inteiras são “engolidas” pela areia movediça.

Este projeto buscou desenvolver uma forma de ilustrar esse fenômeno da maneira mais clara e didática possível, permitindo compreender fisicamente o processo de fluxo ascendente da água, a saturação completa do solo e a desestabilização de objetos apoiados sobre a areia. Desta forma, desenvolveu-se um modelo físico capaz de reproduzir o fenômeno em escala reduzida.

2 DESENVOLVIMENTO DO MODELO

Deu-se início ao desenvolvimento do modelo por meio de pesquisas a textos científicos que explicassem melhor sobre o fenômeno e a

melhor forma de fazer o modelo e executar a simulação. Inicialmente, foi importante a escolha de um material adequado que predominasse no modelo a ser construído.

Após uma pesquisa em listas e catálogos com materiais e suas características, além de consulta aos técnicos do departamento de Geotecnia da EESC/USP, o material escolhido para a construção do modelo foi o PVC, devido à sua rigidez, praticidade, versatilidade, durabilidade e menor custo. Ao fazer essa escolha, considerou-se que o modelo pudesse futuramente ser facilmente reproduzido, inclusive por outras universidades. Assim sendo, deu-se preferência a materiais que podem ser facilmente encontrados.

O próximo passo foi a escolha da geometria do modelo. Considerou-se apropriado uma base circular, que permitisse que o fluxo de água avançasse de maneira rápida e uniforme por toda a areia usada na simulação. Além disso, o PVC é facilmente encontrado comercialmente na forma tubular, o que facilita e simplifica o processo. O raio da base do tubo deveria também ser o maior possível, para minimizar os efeitos das paredes do modelo, mas de forma a ser de fácil mobilidade e manuseio. Assim, a areia ficaria em um tubo cilíndrico de PVC, com base também de PVC e destampado na parte de cima. A base contém uma abertura no centro por onde passa um fluxo ascendente de água, que desestabiliza a areia e a transforma em um fluido viscoso.

Decidida a forma básica do modelo, os estudos voltaram-se ao sistema hidráulico. Para a ilustração do fenômeno da areia movediça é fundamental haver um sistema de controle adequado de entrada e saída de fluido, que facilite inclusive a limpeza do aparato, visando a necessidade de realizar a simulação mais de uma vez por aula. O sistema de entrada, na parte inferior do modelo, contaria com uma entrada de mangueira com engate rápido, uma válvula para ajustar o fluxo de água e um adaptador conectado por baixo da base do modelo. O sistema de saída conta com uma saída lateral, conectada ao sistema de entrada a fim de esvaziar o modelo após seu uso, e dois canos, ligados ao modelo alguns centímetros abaixo da borda superior, para saída da água em excesso durante a execução. Lateralmente

também seria instalado um tubo plástico transparente com o objetivo de observar o nível de água dentro do modelo, ajudando a regular o fluxo de água.

Após mais pesquisas e reuniões com a equipe deste projeto, aperfeiçoou-se o esboço, resultando um projeto que agradou as partes, e pareceu o mais adequado. O próximo passo

consistiu em listar os materiais necessários para a montagem do sistema hidráulico, acoplagem ao corpo principal e acabamento do modelo. Os desenhos do modelo final estão representados pelas Figuras 1, 2 e 3. A Tabela 1 contém a lista de materiais utilizados para a construção do modelo didático.

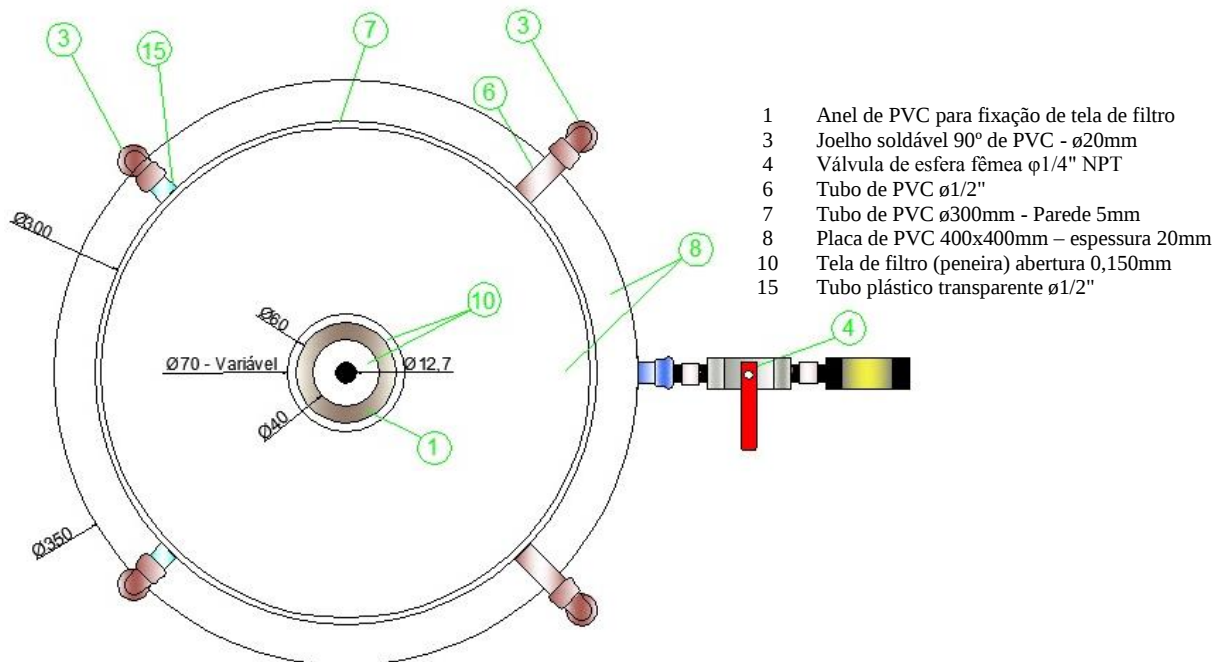


Figura 1. Vista superior do modelo.

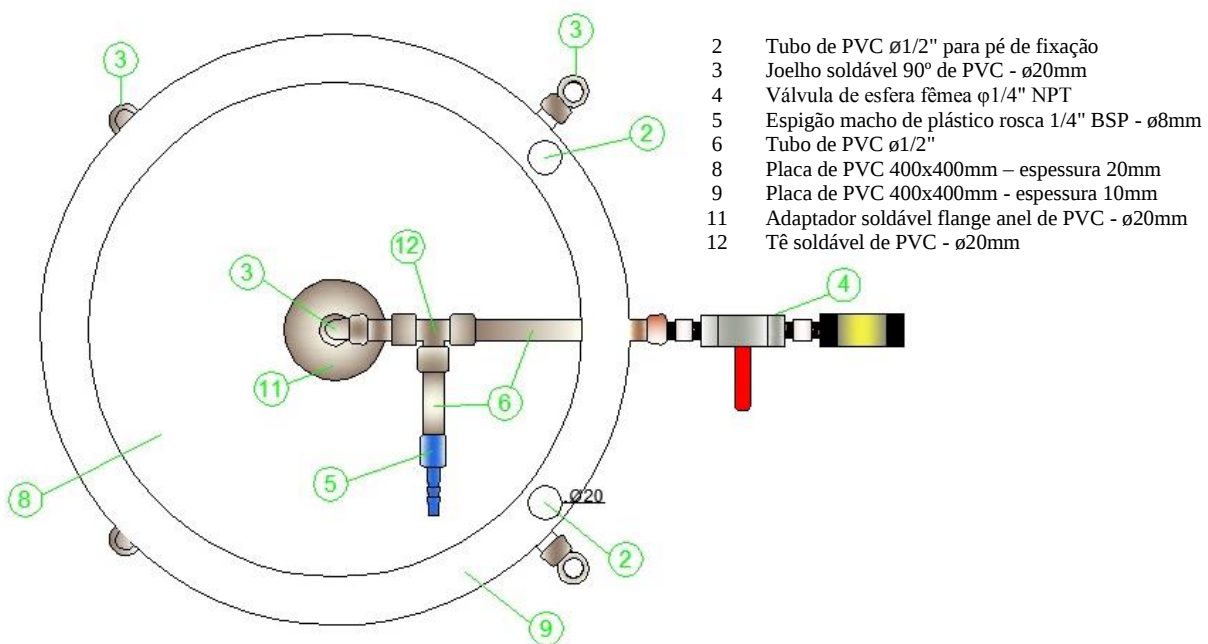


Figura 2. Vista inferior do modelo.

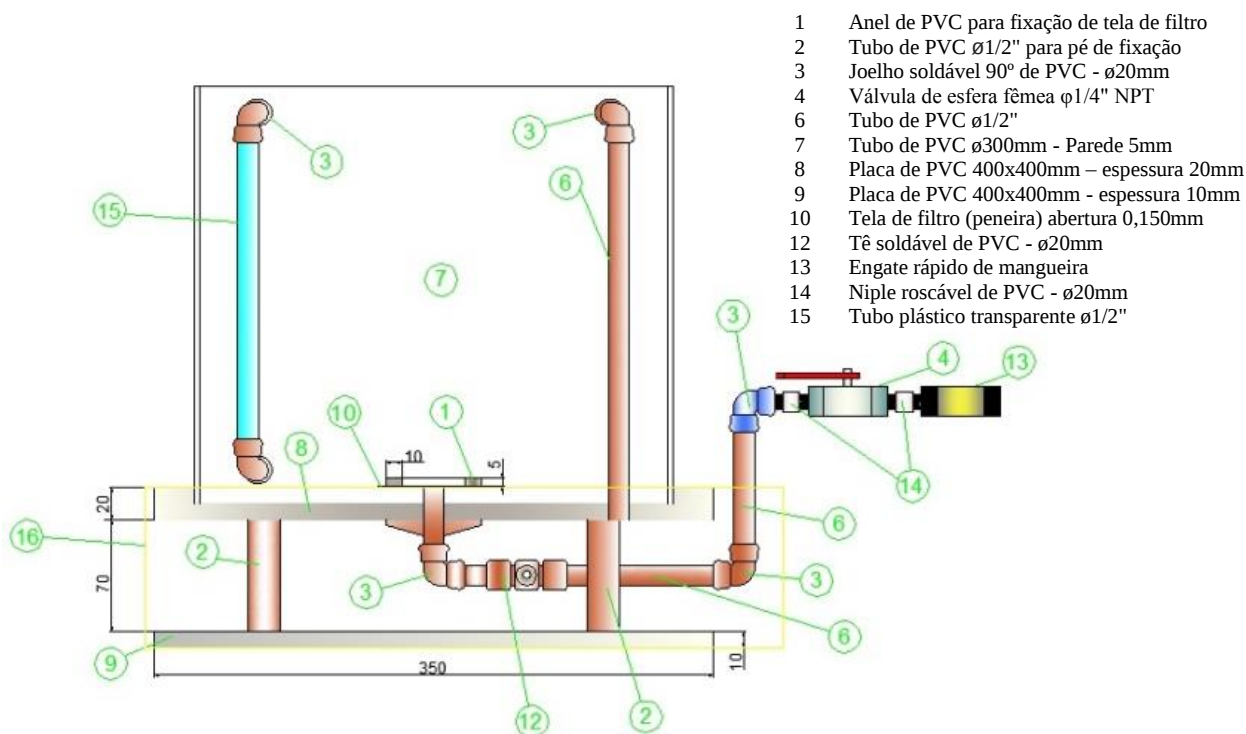


Figura 3. Vista em corte do modelo.

Tabela 1. Lista de materiais utilizados na confecção do modelo.

Item	Descrição	Quantidade
1	Anel de PVC para fixação de tela de filtro	1 peça
2	Tubo de PVC $\varnothing 1/2"$ para pé de fixação	4 peças
3	Joelho soldável 90° de PVC - $\varnothing 20\text{mm}$	7 peças
4	Válvula de esfera fêmea $\varnothing 1/4"$ NPT	1 peça
5	Espigão macho de plástico rosca 1/4" BSP - $\varnothing 8\text{mm}$	1 peça
6	Tubo de PVC $\varnothing 1/2"$	1m
7	Tubo de PVC $\varnothing 300\text{mm}$ - Parede 5mm	1m
8	Placa de PVC 400x400mm - espessura 20mm	1 peça
9	Placa de PVC 400x400mm - espessura 10mm	1 peça
10	Tela de filtro (peneira) abertura 0,150mm	1 peça
11	Adaptador soldável flange anel de PVC - $\varnothing 20\text{mm}$	1 peça
12	Tê soldável de PVC - $\varnothing 20\text{mm}$	2 peças
13	Engate rápido de mangueira	1 peça
14	Niple roscável de PVC - $\varnothing 20\text{mm}$	2 peças
15	Tubo plástico transparente $\varnothing 1/2"$	0,5 m

Após a elaboração do projeto e a quantificação e obtenção dos materiais necessários, procedeu-se a montagem do modelo. O modelo produzido está apresentado na Figura 4.



Figura 4. Foto do modelo pronto.

3 ENSAIOS

Com a primeira versão do modelo pronta, iniciaram-se as fases de testes do modelo. Porém, para entender o tipo de areia que ilustraria melhor o processo, compararam-se duas granulometrias distintas, uma areia do tipo fina (A) e uma areia do tipo grossa (B).

Com o objetivo de melhor compreender e explicar os resultados que os testes trariam, considerando que o fenômeno da areia movediça está ligado à permeabilidade do solo e, portanto, às características físicas do mesmo, buscou-se conhecer melhor as características dos dois tipos de areia usados nos testes. Para tanto, foram realizados ensaios de granulometria, massa específica dos sólidos e índice de vazios.

3.1 Granulometria

Quanto maior a granulometria do solo, maior deve ser o coeficiente de condutividade hidráulica e consequentemente mais permeável é o solo. O ensaio de granulometria foi feito com base nas normas da NBR 6502/95 da ABNT, com um peneirador mecânico, para caracterizar os dois tipos de areia em questão. Os resultados do ensaio e caracterização se encontram nas Tabelas 2 e 3, para a areia A e B, respectivamente.

Tabela 2. Análise Granulométrica da areia A.

Fração	Intervalo de Tamanhos (mm)	%
Pedregulho	Grosso	20 - 60
	Médio	6 - 20
	Fino	2 - 6
Areia	Grossa	0,6 - 2
	Média	0,2 - 0,6
	Fina	0,06 - 0,2
Silte	0,002 - 0,06	<0,67
Argila	<0,002	0
Areia fina e média		

Tabela 3. Análise Granulométrica da areia B.

Fração	Intervalo de Tamanhos (mm)	%
Pedregulho	Grosso	20 - 60
	Médio	6 - 20
	Fino	2 - 6
Areia	Grossa	0,6 - 2
	Média	0,2 - 0,6
	Fina	0,06 - 0,2
Silte	0,002 - 0,06	0
Argila	<0,002	0
Areia média e grossa com pedregulhos finos		

Com base neste ensaio, conclui-se que a areia B é mais permeável que a areia A no que se trata da granulometria.

3.2 Massa Específica dos Sólidos

A massa específica dos grãos permite identificar o material de que são feitos. Determinou-se a massa específica para cada tipo de areia segundo as NBR 6457/86 e NBR 6508/94 da ABNT. Os resultados se referem às massas específicas dos grãos a 20°C, e são:

Areia A: $\gamma_A = 2,645 \text{ g/cm}^3$

Areia B: $\gamma_B = 2,654 \text{ g/cm}^3$

Nota-se que os valores das massas específicas de ambas as areias são próximas, o que pode também explicar a semelhança no que se trata da permeabilidade do solo.

3.3 Índice de Vazios

Quanto maior o índice de vazios, mais permeável é o solo. Para a areia A, o índice de vazios máximo é igual a 0,85 e o mínimo é de 0,68. Para a areia B, o índice de vazios máximo é de 0,75 e o mínimo é igual a 0,55.

3.4 Testes do Modelo

Com as características das areias disponíveis, os testes puderam ser realizados com mais respaldo teórico. Inicialmente, encontrou-se certa dificuldade para a realização dos testes com ambas as areias. O controle do fluxo de água se mostrou importante, pois não havia a saturação correta da areia se o fluxo era muito elevado.

Observou-se a ocorrência constante de um obstáculo, principalmente nos testes da areia A (fina): a formação de bolsões de ar, que algumas vezes faziam com que o nível da areia subisse e ocorresse o rompimento da superfície. Para evitar esse fenômeno, que atrapalha a simulação da areia movediça, adotou-se a solução de dar leves batidas manuais no modelo, enquanto a água percolava a areia, fazendo o ar subir mais facilmente para a superfície, sem deslocar tanto a areia. Algumas vezes, era necessário também fazer algumas perfurações na areia a fim de esvaziar os bolsões que se formavam.

A adoção desses procedimentos permitia uma simulação mais correta do fenômeno. Após a saturação total da areia, juntamente com a verificação de que não havia grandes bolsões de ar, é que põe-se um peso sobre a superfície da areia e aumenta-se o fluxo de água para desestabilizar a areia e submergir o peso. A escolha dos pesos a serem utilizados é baseada na densidade dos mesmos, para demonstrar que corpos mais densos que o fluido submergem completamente e objetos menos densos submergem parcialmente.

4 RESULTADOS

Após diversos testes, estabeleceu-se um certo padrão de realização da simulação do fenômeno da areia movediça. Esse padrão é fundamental para a melhor elucidação possível do fenômeno, e consiste em uma série de passos e cuidados que fazem com que a simulação ocorra de uma maneira clara e correta. Os resultados apresentados pelo modelo após tomar os cuidados descritos foram dentro do esperado. Quanto aos dois tipos de areia, observou-se que a areia fina, por ter menos vazios, de fato saturou-se mais rapidamente.

Tendo-se em vista o conceito de coeficiente de condutividade hidráulica dos solos, durante os testes percebeu-se que a areia A apresenta um comportamento mais líquido quando a água desestabiliza seus grãos, o que pode ser explicado pelos grãos mais leves, que são carregados mais facilmente pela água, comparando-se à areia B, que possui grãos mais pesados. Esse comportamento mais líquido

favoreceu a ilustração do fenômeno. Por outro lado, a granulometria da areia A torna a percolação da água mais difícil se comparada à areia B, provocando a ocorrência dos bolsões de ar, que faz seu uso pouco atraente, tendo em vista o processo já mencionado para solucionar o problema. Desta forma, a areia B foi eleita a melhor opção, já que a água passa mais facilmente pelos vazios do solo. Foi preciso apenas aumentar o fluxo ascendente de água para que os grãos sejam melhor carregados.

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho procurou descrever o procedimento adotado para a criação de um modelo didático que simulasse o conhecido fenômeno da areia movediça, que ocorre quando um fluxo vertical de fluido desestabiliza grãos de areia que se encontram reunidos, próximos a superfície, refletindo tal desestabilização nos corpos que sobre ela se encontram. O procedimento incluiu a escolha de materiais adequados para o modelo, escolha de uma geometria apropriada, montagem de um sistema hidráulico que viabilizasse a simulação e a escolha de tipos variados de areia para servirem de base para diversos testes realizados.

Esses testes permitiram o aprendizado de cuidados que se deve ter ao manusear o equipamento desenvolvido. Tomando esses cuidados, o objetivo da ilustração do fenômeno da areia movediça foi atingido, com resultados coerentes e dentro do esperado.

Espera-se que tal modelo seja capaz de aumentar a eficácia do ensino de Mecânica dos Solos, e dê noção aos estudantes o quão importante é o estudo de fenômenos do gênero, principalmente para a Engenharia Civil.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade de São Paulo, responsável financeira do projeto de desenvolvimento de “Modelos físicos didáticos para ensino de Mecânica dos Solos”, e o Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos – USP, que ofereceu os laboratórios para a realização dos ensaios e

espaço para testes. Ressalta-se também o apoio que o técnico do Laboratório de Mecânica dos Solos da EESC-USP, José Luis Guerra, e o auxiliar técnico do Laboratório de Geossintéticos, Tiago Roberto Escudero, deram, ajudando na realização dos trabalhos.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1995). ABNT NBR 6502 – Rochas e Solos. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1986). ABNT NBR 6457 – Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1984). ABNT NBR 6508 – Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica.
- Marangon, M. *Hidráulica dos Solos* <http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/ms2_unid01.pdf> Acesso em 23/03/2016
- Vargas, Milton. *Introdução à Mecânica dos Solos*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil: Universidade de São Paulo, c1977-1978.