

Estudo de um perfil de alteração composto por dois solos colapsíveis sobrepostos

Marcos Massao Futai

Escola Politécnica da USP, São Paulo, Brasil, futai@usp.br

Silvia Suzuki

COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, silvia.suzuki@terra.com.br

RESUMO: Este artigo apresenta resultados de ensaios de laboratório de um perfil de alteração formado por dois horizontes distintos e ambos colapsíveis. É um caso pouco comum na literatura. Foram coletadas amostras indeformadas até 10m de profundidade e realizados ensaios edométricos simples inundados em três níveis de tensão.

PALAVRAS-CHAVE: Solo colapsível, solos tropicais, solos não-saturados.

1 INTRODUÇÃO

Solos colapsíveis tem sido identificados em várias regiões do Brasil. No interior de São Paulo há importantes registros de solos colapsíveis. Esse trabalho apresenta dados de um solo colapsível em Bragança Paulista que não dispunha, até então, de informações mais científicas sobre o solo. O município de Bragança Paulista está localizado no sudeste do Estado de São Paulo próximo à Minas Gerais. A geomorfologia é formada por morros de pequena inclinação em com elevações entre 100m e 300m.

O local estudado está localizado no topo de um morro. Foram coletadas seis amostras (defomradas em saco e blocos indeformados) até 10m, em um poço de exploração. As amostras foram coletadas em setembro de 2008, sendo portanto uma época de poucas chuvas. Foram realizadas sondagens de até 15m de profundidade e em nenhuma delas se identificou o nível d'água.

2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

O perfil geotécnico é formado por dois horizontes distintos, sendo a camada superior uma argila arenosa (solo maduro) e a

subjacente uma areia siltosa (solo jovem). Essa diferença fica clara quando se observam as curvas granulométricas mostradas na Figura 1.

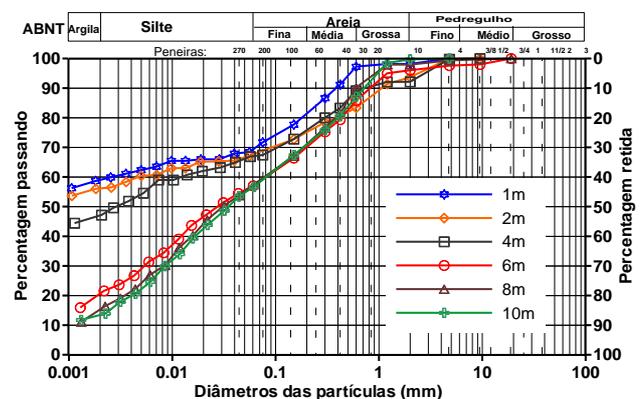


Figura 1 – Curvas granulométricas

Os limites de liquidez varia entre 48% a 65% e o índice de plasticidade é baixo (9% a 25%), sendo os valores maiores da camada de solo maduro. Esses dados foram lançados na carta de plasticidade (Figura 2). Os dados ficaram abaixo da linha A e a atividade do solo é: normal para o solo maduro e baixa para o solo jovem.

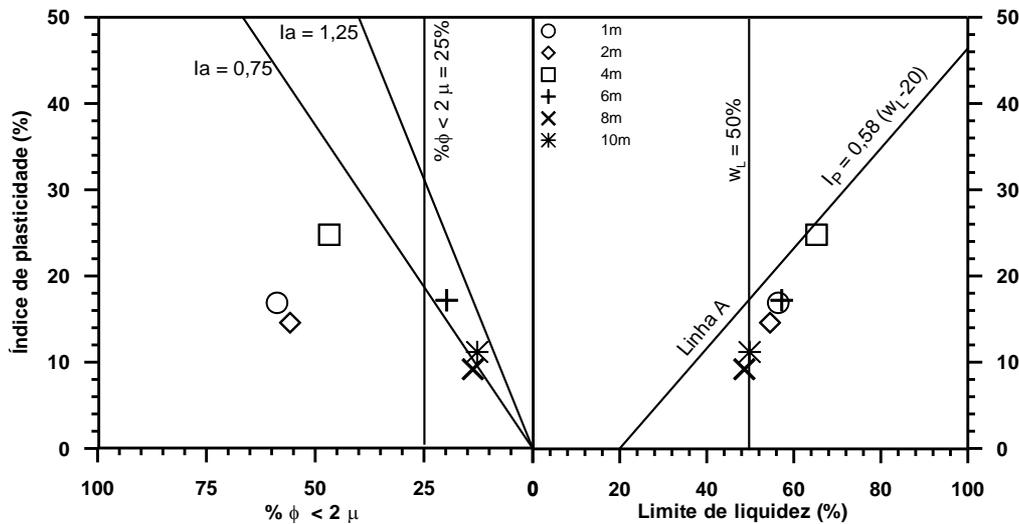


Figura 2 – Carta de plasticidade

Ao se incluir a composição granulométrica e os dados de limites em um perfil fica mais fácil visualizar a variação do solo (Figura 3). Há uma brusca variação da composição granulométrica a 5m de profundidade. Entretanto, essa mesma variação não é tão clara quando se observa o perfil dos limites de Atterberg (Figura 3-b). O limite de plasticidade é praticamente o mesmo para todos os solos analisados e há uma pequena variação do limite de liquidez. Essa diferença não deve ter sido grande devido à composição mineralógica da fração siltosa que pode ser composta por caulinita. Essa composição é típica de solos tropicais e foi verificada em outros tipos de solos semelhantes (Futai, 2002). Na Figura 3 também foram incluídos os dados de umidade medidos na ocasião da coleta das amostras. A umidade natural estava bem abaixo do limite de liquidez. O solo é não-saturado e deve permanecer nessa condição todo ano, por isso, a comparação da umidade com os limites não é um bom índice para avaliar o estado do solo.

Os dados de duas sondagens de simples reconhecimento (SPT) e os índices físicos do solo estão apresentados na Figura 4. Na camada superior o NSPT é praticamente constante e varia entre 2 e 4, na camada subjacente há tendência crescente com a profundidade.

O peso específico no solo maduro aumenta com a profundidade, porém, no solo jovem é praticamente constante (Figura 4b). O peso específico dos grãos é praticamente constante e igual a $26,8\text{kN/m}^3$ (Figura 4c), essa pequena

variação pode ser explicada pela mineralogia que é praticamente a mesma. A umidade (Figura 4d) e o grau de saturação (Figura 4e) variam pouco com a profundidade e os valores médios foram 23,6% e 49,8%, respectivamente. Na camada madura o índice de vazios é maior, (1,7 à 1m de profundidade) e reduz com a profundidade, mantendo-se quase constante no solo jovem (Figura 4f).

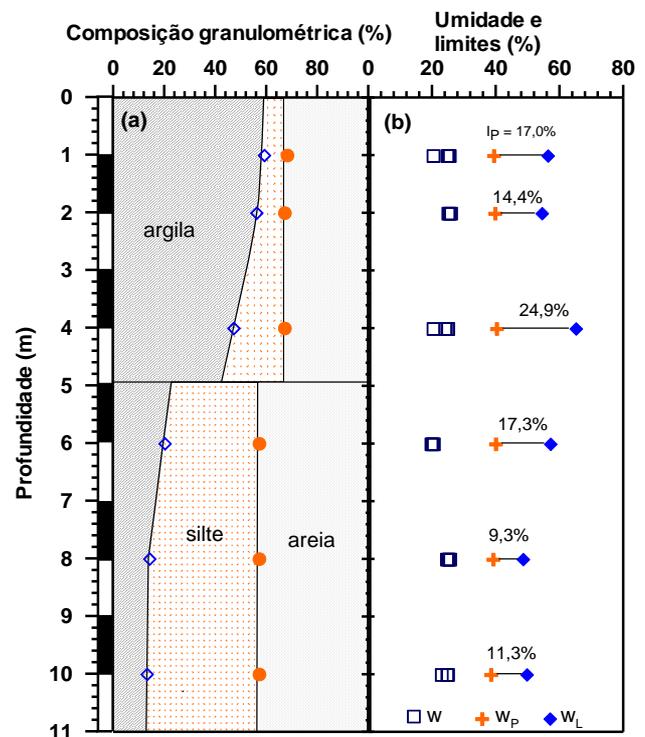


Figura 3 – Perfil de composição granulométrica e de limites de Atterberg.

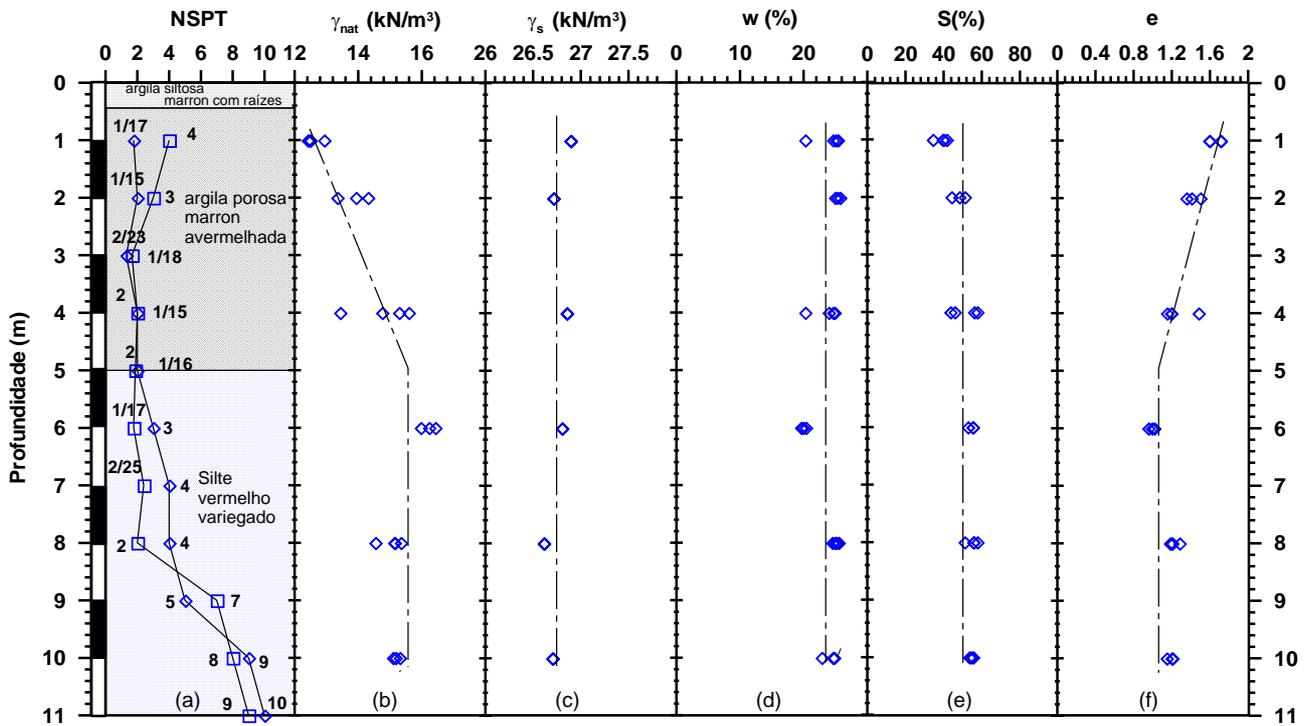


Figura 4 – Perfil de NSPT e índices físicos.

3 COLAPSO

Futai (1998) estudou várias correlações propostas para avaliar a colapsibilidade do solo com base em composição granulométrica, limites de Atterberg e índices físicos e concluiu que não são confiáveis. A melhor forma de verificar a colapsibilidade do solo é por meio de medições diretas em campo ou laboratório.

Para este artigo foram realizados ensaios de compressão edométrica simples. Os corpos de prova foram moldados na umidade natural, cujo grau de saturação variava entre 34% e 56% (Figura 4e). Foram ensaiadas amostras de 6 profundidades (1m, 2m, 4m, 6m, 8m e 10m) e para cada uma delas foram realizados três ensaios, os quais foram inundados nas seguintes tensões verticais: 20kPa, 80kPa e 320kPa.

Selecionam-se ensaios edométricos simples de duas profundidades (1m e 8m), que estão apresentados na Figura 5, e representam bem as duas camadas de composição distinta. Nas amostras de 1m de profundidade, observou-se colapso em todos os níveis de tensões em que se realizou a inundação. No caso da amostra de 8m de profundidade o colapso observado nas tensões de inundação de 20kPa e 80kPa foram menores que 1% , sendo porém medido 4% de colapso quando inundado com tensão de 320

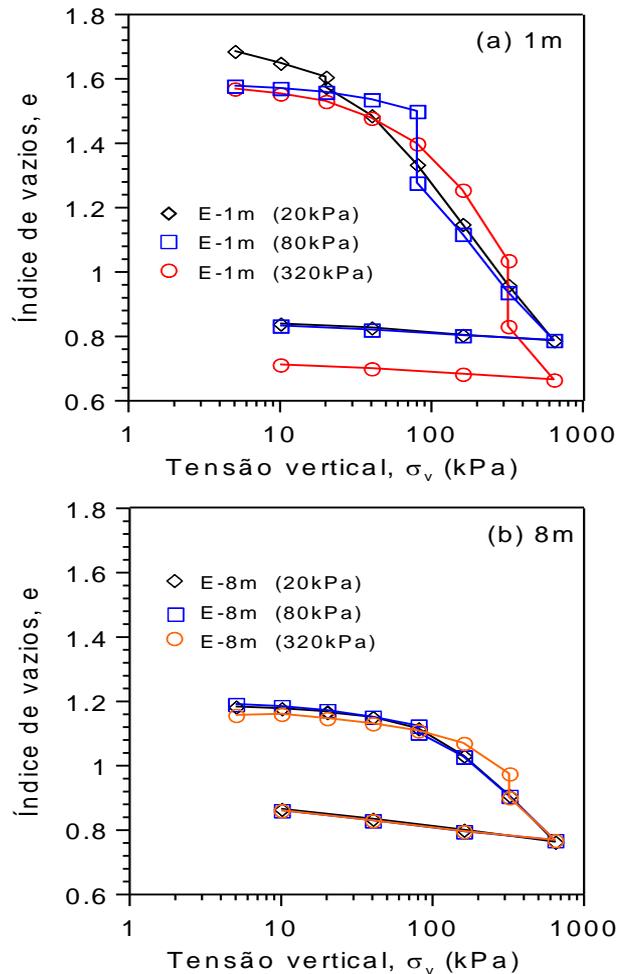


Figura 5 – Resultados de ensaios edométricos simples para as profundidades de (a) 1m e (b) 8m

kPa. A mesma metodologia de ensaio foi utilizada para ensaiar amostras das profundidades de 2m, 4m, 6m e 10m.

As tensões verticais utilizadas nos ensaios podem ser comparadas com as tensões geostáticas na Figura 6(a). A tensão de 20kPa só é maior que a tensão vertical do solo a 1m de profundidade, a tensão de 80kPa é praticamente igual a tensão a 6m de profundidade e a tensão de 320kPa é maior que a tensão de campo em todos os casos.

Os resultados dos potenciais de colapso para os diferentes níveis de tensão de inundação e ao longo da profundidade estão apresentados na Figura 6(b). Pode-se observar que na camada superior (solo maduro) ocorreu colapso quando o solo foi inundado com tensão de 20kPa. Como essa tensão é igual à tensão total de campo à 1m e menor à 2m e 4m de profundidade, conclui-se que essa camada seria colapsável sob peso próprio, portanto, pode ser chamado de solo verdadeiramente colapsável. O colapso sob peso próprio não ocorre porque esse solo nunca deve saturar e a menor sucção que ocorre no campo deve suportar a estrutura na condição natural. O potencial de colapso aumenta com o nível de tensão e reduz com a profundidade (Figura 6-b). O colapso no solo maduro pode ser grande atingindo potencial de colapso de 10% quando inundado na tensão de 320 kPa. A pesar de menos colapsável verificou-se potencial de colapso na camada de solo jovem à 8m de profundidade de até 4%, quando foi inundado na tensão vertical de 320kPa.

Para avaliar a colapsabilidade dos solos foi utilizada a proposta de classificação de Jennings e Knight (1957), cujos limites estão apresentados nas Tabelas 1.

Tabela 1 - Classificação da colapsividade nas obras de engenharia segundo Jennings e Knight (1975)

| PC (%) | Gravidade do problema |
|---------|-----------------------|
| 0 a 1 | sem problema |
| 1 a 5 | problema moderado |
| 5 a 10 | problemático |
| 10 a 20 | problema grave |
| >20 | problema muito grave |

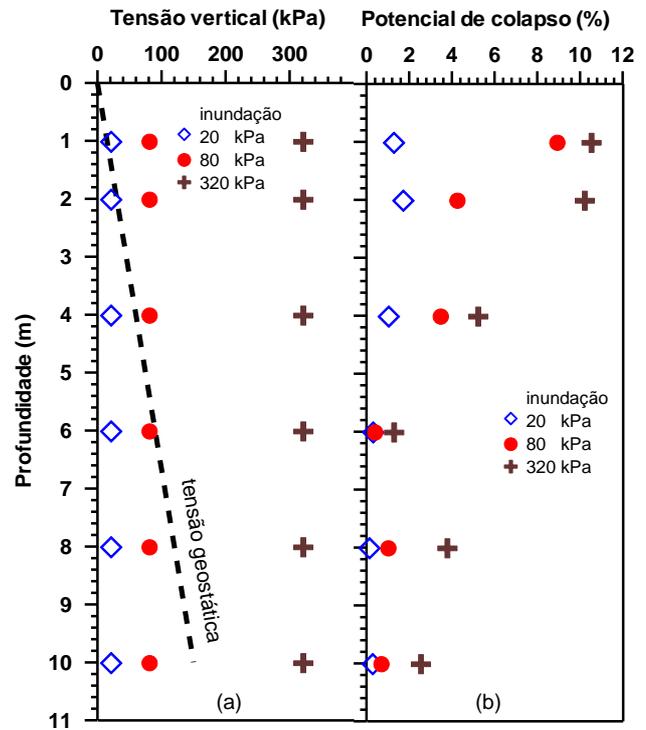


Figura 6 – (a) Tensão geostática e tensões de inundação e (b) potenciais de colapso

A classificação de Jennings e Knight (1957) tem como referência a o potencial de colapso decorrente da inundação sob uma tensão de 200 kPa. O colapso depende do grau de saturação (ou da sucção) e também do nível de tensão em que se faz a inundação, por isso, a avaliação do problema deveria ser realizado com o nível de tensão induzido pela obra. Dessa forma, a avaliação da colapsabilidade do solo estudado utilizou a classificação de gravidade proposta por Jennings e Knight (1957), com adaptação. Comparou-se os potenciais de colapso medidos nos três níveis de tensão de inundação utilizados nos ensaios com a Tabela 1 e o resultado está mostrado na Tabela 2.

De modo geral, pode-se dizer que uma obra assente diretamente sobre esse perfil de solo, sem nenhum tratamentos, estará sujeito a colapso. A camada de solo maduro é colapsável sob qualquer nível de sobrecarga. O solo jovem pode apresentar colapso para níveis de tensões mais elevados.

Tabela 2 - Classificação da colapsividade do solo de Bragança (adaptação da proposta de Jennings e Knight, 1975)

| Prof. (m) | Potencial de colapso (%) | | |
|--------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| | $\sigma_{vi}=20\text{kPa}$ | $\sigma_{vi}=80\text{kPa}$ | $\sigma_{vi}=320\text{kPa}$ |
| 1 | PM | P | PG |
| 2 | PM | PM | PG |
| 4 | SP | PM | P |
| 6 | SP | SP | PM |
| 8 | SP | SP | PM |
| 10 | SP | SP | PM |

Sendo: sem problema: SP; problema moderado: PM; problemático: P; Problema grave: PG.

CONCLUSÕES

Este artigo apresentou resultados em um perfil de alteração composto por duas camadas de solo distintas, sendo um solo mais argiloso (maduro) e o subjacente (jovem) mais siltoso. A camada superior de 5m de espessura apresentou elevados valores de potencial de colapso (mais de 10%).

A colapsibilidade do solo reduz com a profundidade, porém, ainda se verificou colapso no solo jovem de até 4% de deformação,

quando foi inundado na tensão de 320 kPa. Esse registro de dois solos distintos, sendo ambos colapsíveis e com profundidades tão grandes (mais de 10m) não é um caso comum e merece atenção especial. Projetos em fundação profunda precisariam de uma boa investigação geotécnica e com foco na colapsibilidade não somente na camada superficial.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e CAPES pelo apoio financeiro e a EPT e SABEDSP pelo apoio logístico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Jennings, J.E. & Knight, K. (1957). The Additional Settlement of Foundations due to a Collapse of Structure of Sand Subsoils on Wetting. *Proc. of the 4th ISSMFE*, vol. 1, pp. 316-319.
- Futai, M.M. (2002) *Estudo Teórico-Experimental do Comportamento de Solos Tropicais Não-Saturados: Aplicação a um Caso de Voçorocamento*, Tese de doutorado. COPPE UFRJ, 559p.
- Futai, M. M. (1998). Estimativa de Colapso de Solos através de ensaios de laboratório. *COBRAMSEG*, Brasília, pp. 1023-1030