

7

Simulação numérica de prova de carga em placa sobre solo residual

As análises feitas no capítulo 6 permitiram uma avaliação geral da capacidade de representação do comportamento mecânico de solos não saturados pelos modelo Barcelona, modelo HSM Modificado, modelo HiSS- δ 1 Modificado e aplicações da Teoria do Estado Perturbado (DSC).

Neste capítulo será feita uma aplicação numérica pelo método dos elementos finitos sobre a simulação de provas de carga em placa utilizando o modelo HSM - *Hardening Soil Model* disponível no pacote comercial de elementos finitos Plaxis v.7.2. Os efeitos da não saturação do solo serão introduzidos diretamente nos valores dos parâmetros do material, conforme explicado no capítulo anterior.

A abordagem para a solução do problema é, dentre as apresentadas, a menos rigorosa delas mas, devido à simplicidade de sua utilização, compensa aqui ser examinada para verificar a validade e o grau de aproximação dos resultados obtidos com este procedimento.

7.1

Descrição da prova de carga em placa

As provas de carga em placa foram executadas por Carneiro (1994) e Campelo (1994) no solo residual de arenito não saturado do município de São Carlos – SP. Os resultados experimentais foram utilizados por Machado (1998) para uma retro-análise numérica dos ensaios de campo pelo método dos elementos finitos empregando o modelo Cam Clay Modificado.

As provas de carga (duas) consistiram na aplicação de cargas sobre placas rígidas circulares de 80 cm de diâmetro e 25mm de espessura, no interior de cavas com profundidade de 1,50m (figura 7.1). Foram executadas nas condições de umidade natural do solo e sob saturação total, obtida via inundação das cavas pelo período de 24 horas.

As figuras 7.6 e 7.7 apresentam os resultados destas provas de carga, denominadas Prova de carga I e II.

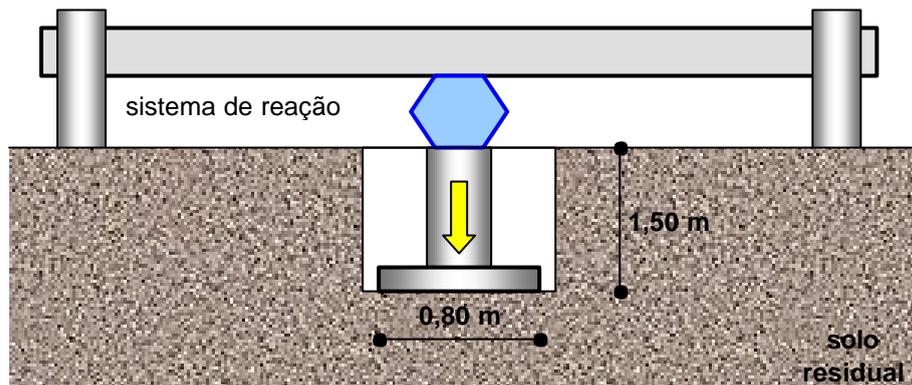


Figura 7.1: Esquema do ensaio de prova de carga em placa no solo residual de São Carlos - SP.

7.2

Simulação numérica pelo método dos elementos finitos

Geometria. Considerando-se a condição de axissimetria, duas malhas de elementos finitos foram utilizadas para representar os casos de saturação total (figura 7.2) e de umidade natural (figura 7.3). As dimensões externas das malhas foram assumidas iguais às adotadas por Machado (1998) na simulação numérica destas provas de carga com o modelo Cam Clay Modificado.

Na análise do problema com o maciço de solo na umidade natural várias camadas de solo foram consideradas de modo a introduzir os efeitos da sucção diretamente nos parâmetros dos ‘diferentes materiais’.

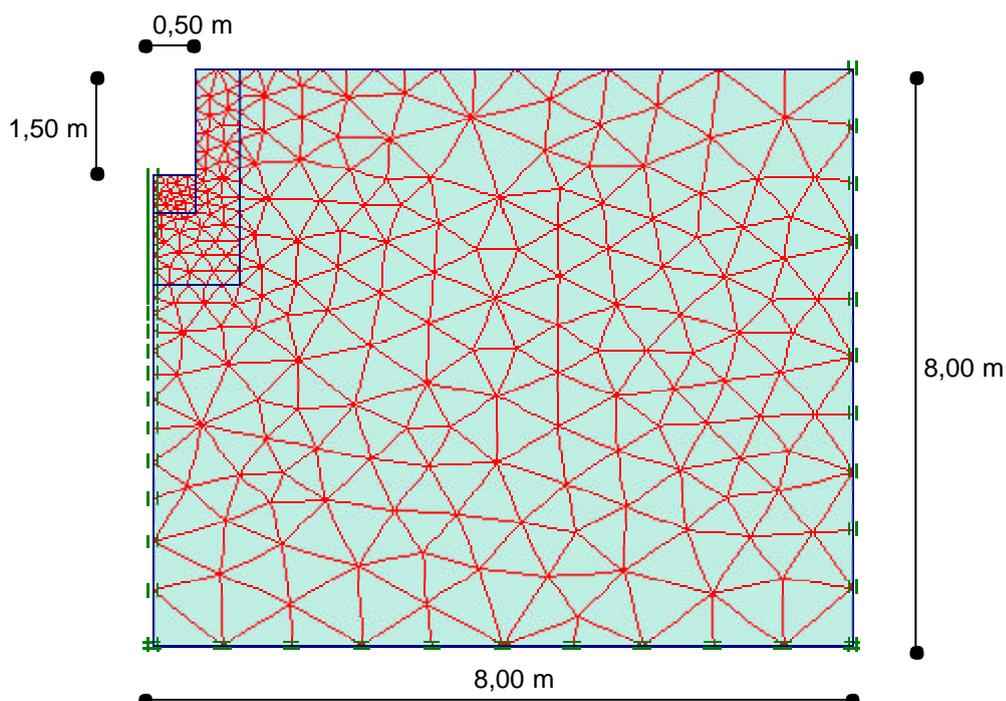


Figura 7.2: Malha de elementos finitos empregada para a simulação da prova de carga no maciço de solo saturado

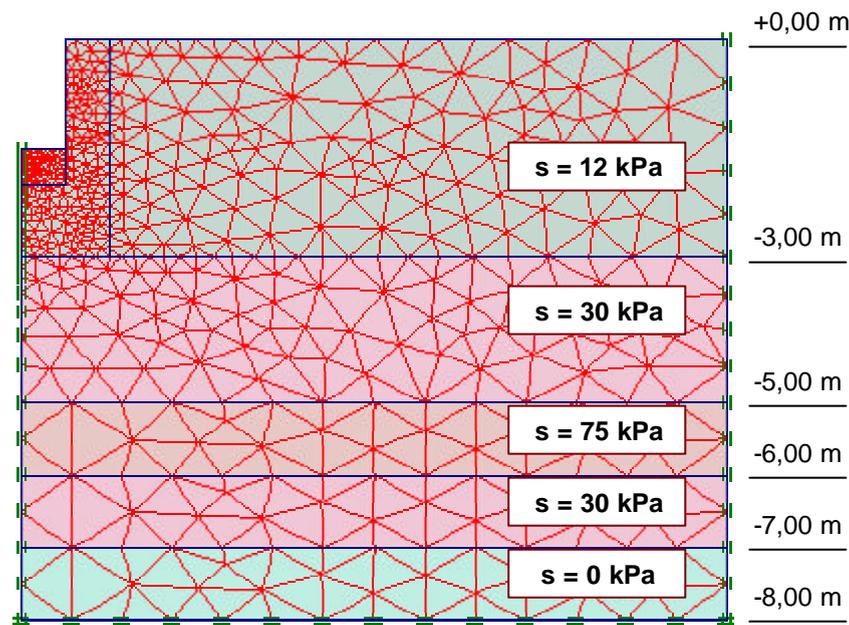


Figura 7.3 Malha de elementos finitos empregada para a simulação da prova de carga no maciço de solo na umidade natural.

Parâmetros do modelo HSM. Para o caso do solo na condição saturada, os seguintes valores dos parâmetros foram obtidos a partir dos resultados publicados em Machado (1998): $c = 5$ kPa, $f = 30^\circ$, $E_{50}^{ref} = 11$ MPa, $E_{ur}^{ref} = 30$ MPa, $m = 0,5$, $E_{oed}^{ref} = 10$ MPa, $K_0^{NC} = 0,5$, $n = 0,3$, $y = 0$, $g_d = 17$ kN/m³, $g_{sat} = 20$ kN/m³.

Para a situação de solo na umidade natural, a variação dos parâmetros com a sucção s (em kPa) foi estabelecida com base nas seguintes relações:

- $c = 5 + 0,68.s$ (kPa) $f = 30^\circ$
- $E_{50}^{ref} = 11.000 + 200.s$ $E_{ur}^{ref} = 30 + 600.s$ $m = 0,5$
- $E_{oed}^{ref} = 10.000 + 200.s$ $K_0^{NC} = 0,5$
- $n = 0,3$
- $y = 0$

Simulação das provas de carga. A avaliação numérica pelo método dos elementos finitos foi procedida considerando-se as seguintes etapas de cálculo com o programa Plaxis v.7.2:

- Escavação - utilizando recursos de construção incremental foi inicialmente simulada a etapa de escavação de uma cava com 1,50m de profundidade e 1m de diâmetro.
- Instalação do equipamento – aplicação de carregamento normal distribuído sobre a região da placa com intensidade de 4 kPa para representar a aplicação do peso do equipamento utilizado na execução da prova de carga.
- Prova de carga – simulação da prova de carga pela prescrição gradual de deslocamentos verticais nos nós da interface solo/placa para representar os recalques de uma placa rígida.

Resultados. As figuras 7.4 e 7.5 mostram os campos das tensões principais no maciço de solo ao final da prova de carga para os casos de solo saturado e na umidade natural, respectivamente. As figuras 7.6 e 7.7 apresentam as curvas carga x recalque que permitem uma comparação dos resultados medidos em campo com as previsões numéricas obtidas pelo método dos elementos finitos. Conforme pode ser notado, a utilização do modelo HSM produziu resultados aceitáveis para o caso de saturação do solo residual mas insatisfatórios para a situação do maciço de solo na umidade natural, tornando portanto a aplicação do modelo HSM Modificado bastante limitada e não aconselhável para a análise do comportamento das provas de carga em placa.

Conclusões – da comparação entre os resultados experimentais e numéricos as seguintes conclusões podem ser retiradas:

- O modelo HSM previu de maneira aceitável o comportamento do solo saturado durante a prova de carga em placa, enquanto que o modelo HSM Modificado, utilizado no maciço de solo na umidade natural, as previsões revelaram-se de menor qualidade e exatidão.
- No aspecto da tensão de colapso (que indica o começo do fluxo plástico generalizado, com recalques importantes sem aumento considerável de carregamento) as simulações não mostraram valores de tensão definidos, mas curvas de transição suaves, típicas de solos que não apresentam picos de resistência.

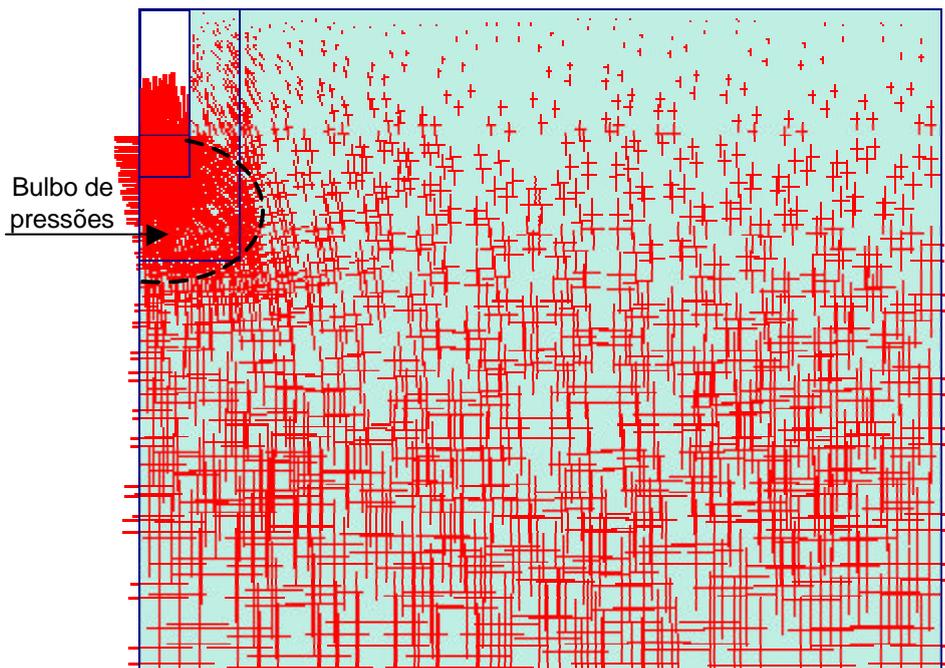


Figura 7.4: Tensões principais no maciço de solo saturado no estágio final da prova de carga (carregamento de 160 kPa).

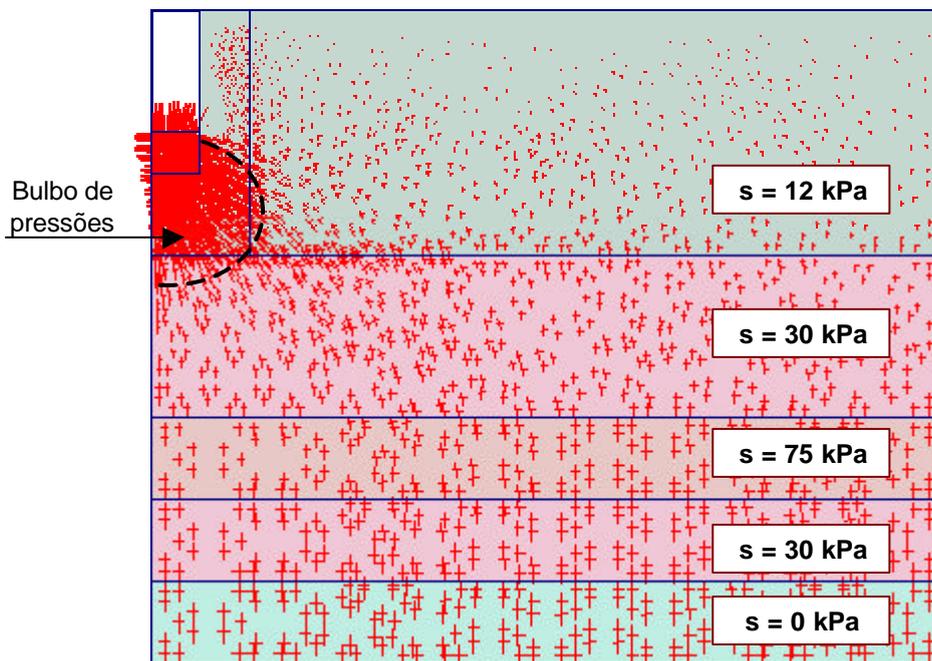


Figura 7.5: Tensões principais no maciço de solo na umidade natural no estágio final da prova de carga (carregamento de 200 kPa).

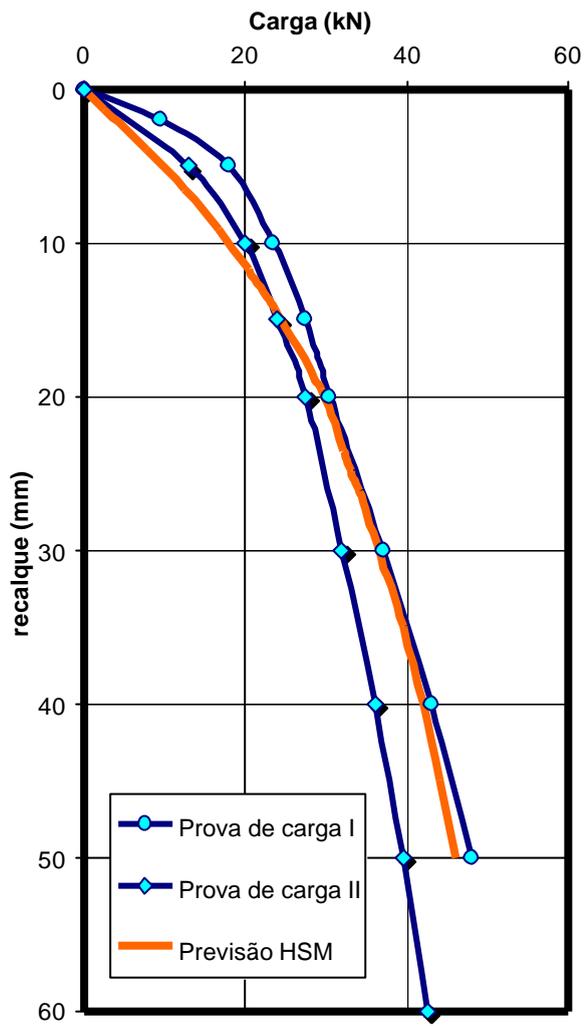


Figura 7.6: Curvas carga x recalque no caso de maciço de solo saturado.

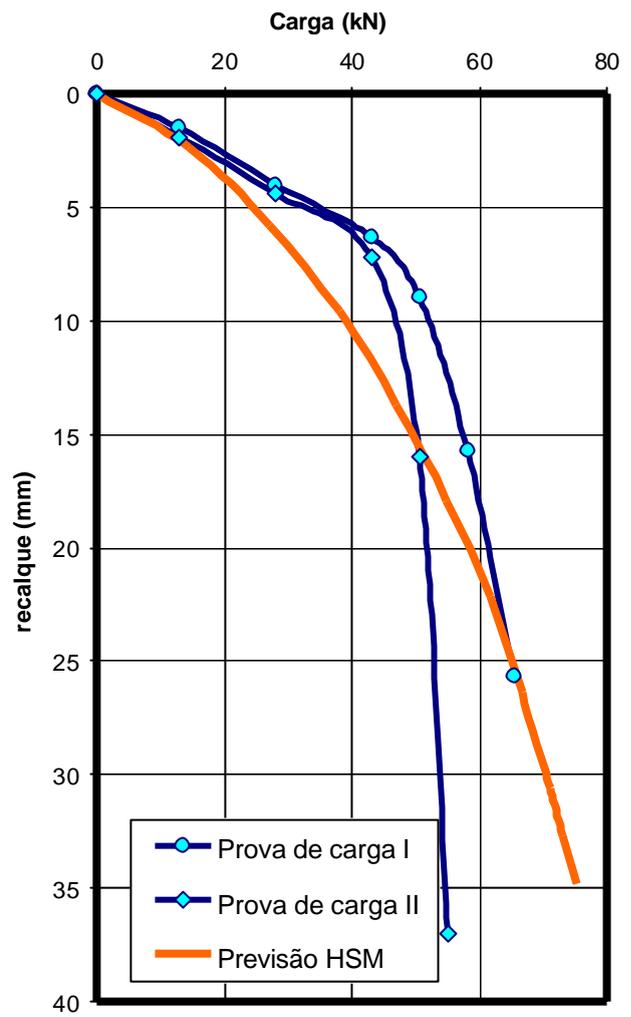


Figura 7.7: Curvas carga x recalque no caso de maciço de solo na umidade natural.