

Estacas Escavadas Assentes na Argila Porosa Colapsível de Brasília – Caso de Obra

Carlos Medeiros Silva

Embre Engenharia e Fundações Ltda., Brasília, Brasil, carlos@embre.com.br

José Camapum de Carvalho

Universidade de Brasília, Brasil, camapum@unb.br

Fernando Rodrigo Aquino

SCCAP Engenharia Ltda., Brasília, Brasil, fernando.sccap@gmail.com

RESUMO: A simples interpretação dos dados provenientes dos ensaios de campo nem sempre garante a desejada segurança as fundações quando estas estão assentes em solos não saturados colapsíveis. As fundações geralmente são dimensionadas no Brasil em termos de capacidade de carga a partir dos ensaios de campo sem se avaliar a possibilidade e consequências da alteração do perfil de umidade, e respectiva sucção nas camadas de solos envolvidos. Abordagem que foi impulsionado no Distrito Federal a partir do estudo do comportamento das fundações implantadas no horizonte colapsível que permitiu avaliar a viabilidade e o risco da adoção de estacas assentes na argila porosa colapsível existente na região. No caso de obra apresentado no artigo foi avaliada a solução de fundação para a execução de 400 edifícios com quatro pavimentos localizados na margem esquerda da Via EPCT no Riacho Fundo, Distrito Federal, Brasil. A solução de fundação inicialmente proposta para o empreendimento, levando em consideração as características colapsíveis dos solos regionais, consistia na adoção de estacas tipo hélice contínua com comprimentos superiores a 20 m, o que inviabilizava economicamente o empreendimento. Como alternativa foi então estudado e validado o uso de estacas escavadas com profundidade variando entre 10 m e 12 m, assentes na camada de solo poroso colapsível acima do nível d'água freático.

PALAVRAS-CHAVE: Desempenho, solo colapsível, estacas escavadas, sucção, umidade.

1 INTRODUÇÃO

O colapso estrutural do solo pode influenciar negativamente o comportamento das fundações implantadas no solo do Distrito Federal, em termos de capacidade de carga e recalque. Fato que impulsionou o estudo do comportamento dos solos locais e estabeleceu critérios de avaliação e mitigação de risco quanto ao colapso que é ocasionado pela ruptura de sua estrutura metaestável. Essa quebra estrutural é geralmente ocasionada por variações da energia imposta ao solo. Essas variações podem ter origem externa, como é o caso do aumento de tensões induzidas e das vibrações, ou interna, relacionada à variação do estado de tensões e de

sucção ou ainda da própria química do fluido de saturação. As águas servidas, por exemplo, além da diminuição dos valores de sucção alteram a química do fluido de saturação, intervindo no nível e velocidade do colapso. Consequentemente, a sucção matricial e dependendo do caso a osmótica, o grau de metaestabilidade estrutural do solo, a composição químico-mineralógica e as forças interpartículas são, portanto, fatores determinantes nas análises de capacidade de carga das fundações e nas previsões de comportamento e de risco de fundações implantadas neste tipo de solo.

No estudo a preocupação principal voltou-se para as reduções da capacidade de carga como

consequência do aumento da umidade do solo. Como recomendação alertou-se para as consequências de fatores como: ataque químico às ligações cimentícias por fluidos diversos como as águas servidas evitando-se infiltrações de águas servidas em proximidade tal que pudessem afetar a interação solo estrutura de fundação; tensões induzidas, evitando-se sobrecargas não previstas; alteração no estado de tensões, evitando-se, por exemplo, escavações nas proximidades; vibrações, evitando-se grande proximidade com as vias de circulação de veículos destinados a transporte de carga.

De modo a satisfazer essa preocupação principal foram realizadas provas de carga sobre estacas escavadas com e sem a saturação do solo. No processo de saturação foram utilizadas duas técnicas a de infiltração a partir da superfície e a da infiltração progressiva ao longo do fuste. A saturação a partir da superfície se deu a partir da realização de valas de infiltração em volta da estaca, buscando simular a infiltração a partir de acumulações de água de chuva na superfície do solo junto às fundações.

Na infiltração progressiva com a profundidade fez-se inicialmente a infiltração a partir da superfície e em seguida a 3 m e a 7 m de profundidade. Nesse caso buscou-se avaliar o efeito da infiltração continuada, por exemplo, por meio de vazamentos no sistema de abastecimento. Para efeito de comparação foram também ensaiadas estacas com o perfil de solo na umidade natural. Todas as provas de carga foram realizadas levando-se as estacas à ruptura, pois tratava-se de estacas teste. Os dados, as análises e conclusões apresentados no artigo foram apresentadas e discutidos por Camapum de Carvalho et al. (2015).

2 CARACTERÍSTICAS DO SOLO

O local do estudo foi caracterizado por meio de sondagens do tipo SPT com determinação dos perfis de umidade. Realizaram-se, ainda em laboratório, ensaios de caracterização física, adensamento com avaliação do colapso por saturação e curva característica de retenção de água.

A Figura 1 apresenta os perfis de N_{SPT} , de umidade e de índice de vazios determinados a partir das amostras coletadas pelo amostrador padrão durante a execução de sondagens do tipo SPT realizadas no final do período de seca (19 a 26 de setembro de 2012).

A Tabela 1 apresenta o resumo dos resultados dos ensaios de caracterização e a Figuras 3 apresenta as curvas granulométricas obtidas para amostras coletadas a 3 m, 5 m, 7 m e 9 m de profundidade. Esses resultados mostram que o manto de solo não saturado é muito poroso até cinco metros de profundidade, diminuindo a porosidade a partir dessa cota.

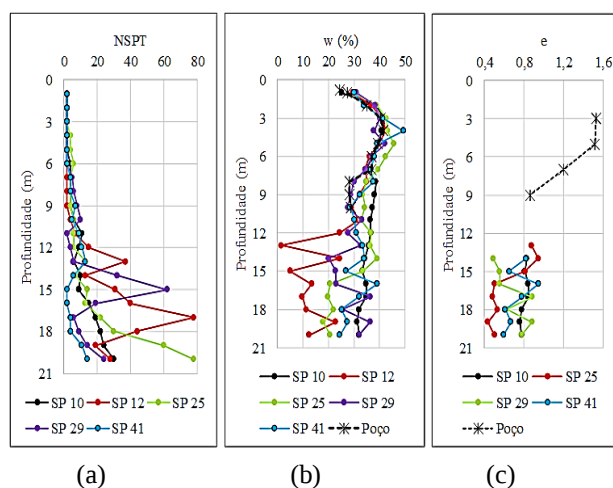


Figura1. Gráficos em função da profundidade a) N_{SPT} ; b) umidade (w); c) índice de vazios.

A Figura 2 mostra que para as camadas de solo não saturado o N_{SPT} tende a diminuir com o aumento do teor de umidade do solo, ou seja, o comportamento mecânico avaliado por meio desse ensaio é afetado pela sucção. Salienta-se que nos perfis estudados a perturbação estrutural oriunda da própria cravação do amostrador é prejudicial ao estabelecimento de relações entre o N_{SPT} e a sucção.

Se observados os valores de índice de vazios apresentados na Figura 4, estimados a partir dos teores de umidade determinados para amostras coletadas abaixo do nível d'água freático, é possível estimar que entre 9 m e 13 m de profundidade não ocorre grande variação da porosidade. As diferenças entre as curvas granulométricas obtidas com e sem o uso de defloculante (Figura 3), revelam a presença de microagregados ao longo do perfil de solo,

sendo o seu teor mais significativo até a profundidade de 7 m, embora eles se façam também presentes na profundidade de 9 m.

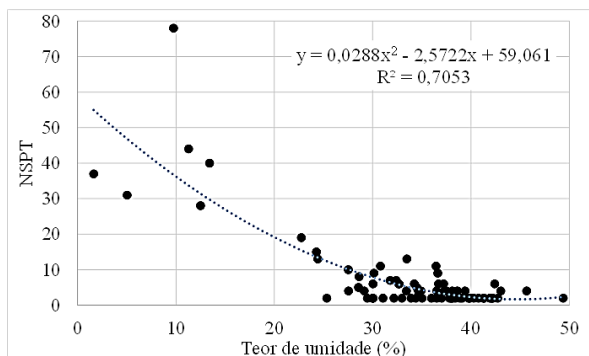


Figura 2. Variação do NSPT em função do teor de umidade, solo não saturado.

Tabela 1. Resultados dos Ensaios de Caracterização.

Amostra / Profundidade (m)	3	5	7	9
w _L (%)	49	53	54	49
w _P (%)	39	35	43	39
I _P (%)	10	18	11	10
ρ _s (g/cm³)	2,738	2,872	2,640	2,425
w _o (%)	39,8	40,2	35	25,2
e	1,53	1,52	1,20	0,86
Sr (%)	71	76	77	71

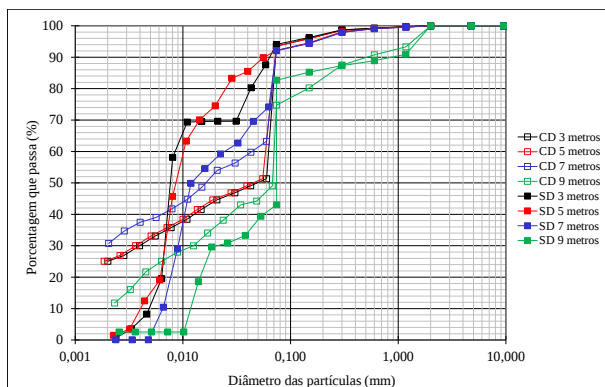


Figura 3. Curvas granulométricas obtidas com e sem o uso de defloculante.

Destaca-se ainda o fato das curvas granulométricas mostradas na Figura 3 apresentarem um desnível entre os trechos obtidos por peneiramento e por sedimentação nos solos analisados com o uso de defloculante. Isso aponta para o fato de que os agregados ainda estáveis em presença do defloculante são

desagregados pelo esforço mecânico presente no processo de lavagem no peneiramento, ou seja, os agregados são nesse caso susceptíveis de serem destruídos por ação química e mecânica implicando em cuidados em relação a infiltração de águas servidas e à ação de esforços mecânicos como a vibração. Por fim, observa-se que as amostras ensaiadas sem o uso de defloculante nas profundidades de 3 m e 5 m não apresentam degrau entre os resultados obtidos por peneiramento e aqueles oriundos da sedimentação, sendo que tal degrau reaparece nas profundidades de 7 m e 9 m. Isso mostra que a maior intemperização do solo nas camadas mais superficiais melhoraram a estabilidade estrutural dos agregados e nessas camadas a infiltração de águas pluviais pode gerar o colapso estrutural do solo, mas dificilmente possibilitará a quebra dos agregados para níveis não muito elevados de tensões. Esses dois aspectos apontam para a necessidade de se considerar a metaestabilidade estrutural do solo frente a ações químicas e mecânicas.

As curvas características de retenção de água obtidas para as profundidades de 3 m, 5 m, 7 m e 9 m são mostradas na Figura 4 em função do teor de umidade w (a) e do grau de saturação Sr (b). As curvas características como ilustra a Figura 4b são tipicamente bimodais, podendo ser observado que para os graus de saturação naturais as sucções matriciais (20 kPa a 60 kPa), encontram-se acima daquelas características da macroporosidade que são de aproximadamente 6 kPa a 8 kPa. Geralmente nesses solos quando a sucção é maior que a correspondente à zona de macroporosidade o aumento de umidade do solo tende a provocar o seu colapso estrutural. Logo, os resultados dos ensaios de caracterização conjuntamente com as curvas características apontam para a possibilidade de recalque das fundações por colapso estrutural do solo quando do seu umedecimento. Diante desse quadro optou-se por avaliar a capacidade de carga das fundações em estaca escavada, mas também de se avaliar a possibilidade da ocorrência de recalques em função do colapso estrutural do solo em consequência de eventual aumento excessivo da umidade.

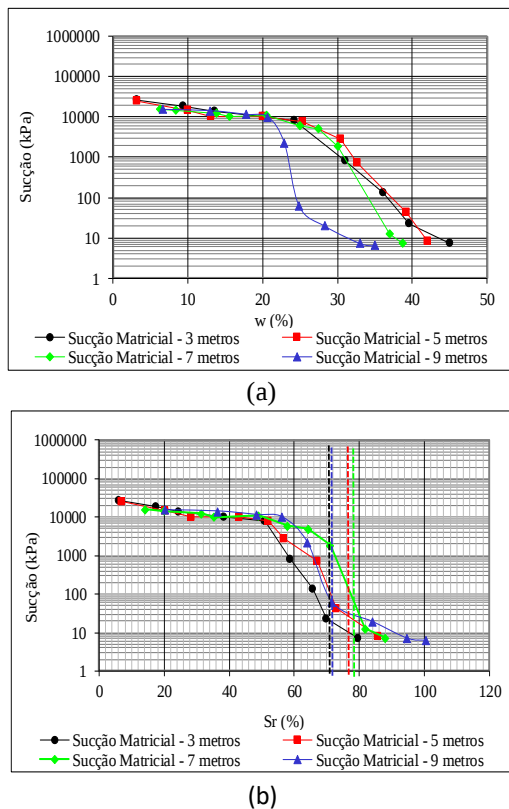


Figura 4. Curvas características de retenção de água em função (a) da umidade (w) e (b) do grau de saturação (S_r).

Complementando as análises de metaestabilidade estrutural do solo a Figura 5 apresenta os resultados dos ensaios duplo-oedométricos realizados para as profundidades de 3 m (a) e 7 m (b). Observa-se que para a amostra coletada a 7 m de profundidade mesmo sob efeito da tensão de contato (6 kPa), o solo apresentou colapso estrutural quando inundado. Destaca-se que nas quatro profundidades estudadas 3 m, 5 m, 7 m e 9 m o solo apresentou colapso estrutural nesse tipo de ensaio.

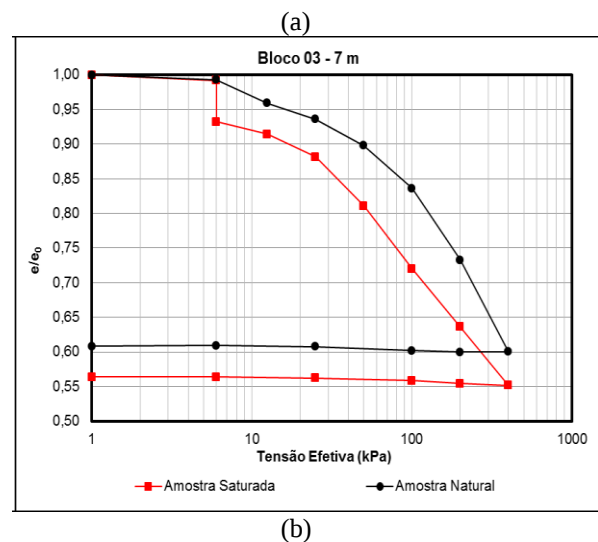
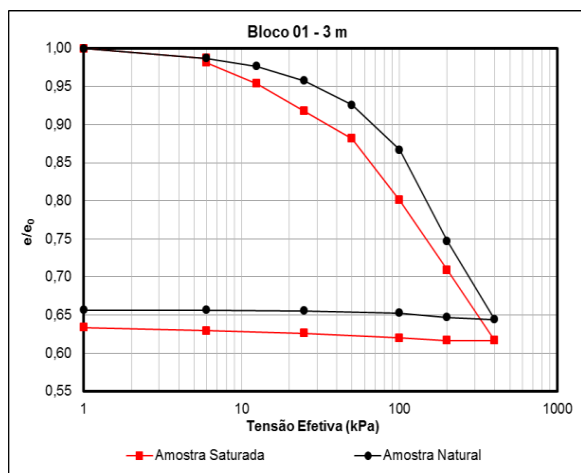


Figura 5. Curvas de adensamento para amostras coletadas a 3 m (a) e 7 m (b) de profundidade.

É interessante observar que na curva de adensamento, Figura 5b, correspondente a 7 m, ocorre o colapso estrutural do solo quando a amostra foi inundada sob a carga de apenas 6 kPa, confirmando a natureza metaestável da estrutura do solo diante de esforços mecânicos.

3 ANALISE DO COMPORTAMENTO DAS ESTACAS ASSENTES EM SOLOS COLAPSÍVEIS

A avaliação do comportamento das estacas escavadas foi feita por meio de provas de carga (PC): a) com o solo na condição natural (PC 17); b) com o solo inundado na superfície por meio de vala contornando o bloco de coroamento (PC 20); e com o solo inundado na superfície por meio de vala contornando o bloco de coroamento e nas profundidades de 3 m e 7 m por meio de furos a trado oblíquos de modo a aproximar o umedecimento do fuste da estaca (PC 21). As provas de carga foram realizadas no período seco, agosto de 2014.

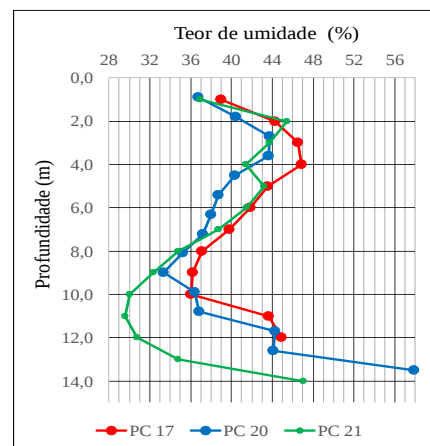
A Figura 6a apresenta os perfis de umidade determinados antes da realização das provas de carga e localizados próximo às três estacas ensaiadas. Para os perfis de umidade correspondentes à PC 17, PC 20 e PC 21 os níveis d'água iniciais encontravam-se respectivamente à 12,3 m, 12,8 m e 13,8 m de profundidade e estabilizando-se, respectivamente, a 11,8 m, 11,6 m e 12,4 m de profundidade. As estacas correspondentes à PC

17 e PC 20 foram executadas com 12 m de comprimento e a PC 21 com 14 m de comprimento. Todas elas apresentando 0,30 m de diâmetro. A coincidência dos trechos iniciais das curvas mostradas na Figura 6b para as três estacas ensaiadas mostra que na condição não saturada o comportamento delas foi semelhante indicando a homogeneidade existente entre os três perfis de solo, assim como entre as três estacas.

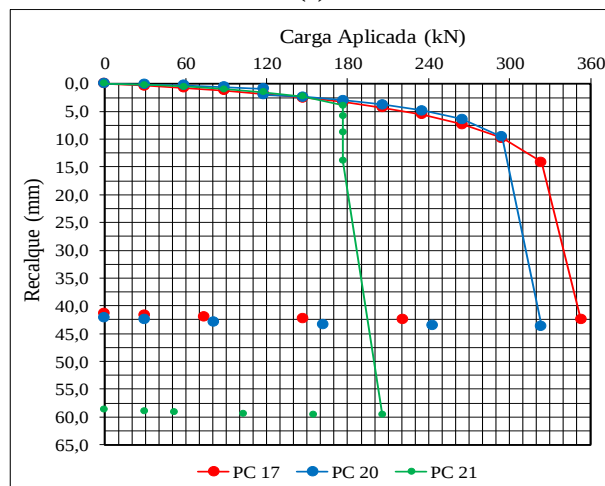
A estaca submetida à prova de carga PC 17 (solo com umidade natural) rompeu quando a carga a que estava submetida passou de 323 kN para 353 kN. Já a estaca cujo perfil de solo foi submetido à saturação apenas a partir da superfície sob a carga de 118 kN, carga de trabalho prevista, sofreu em consequência do aumento da umidade do solo um recalque de apenas 1,08 mm e rompeu ao se passar da carga 294 kN para a carga 324 kN. Finalmente a estaca correspondente a prova de carga PC 21 submetida a três estágios de saturação sob a carga de 177 kN, 1,5 vezes a carga de trabalho prevista, sofreu um recalque de 1,93 mm na fase de saturação do maciço a partir da superfície, 2,9 mm na segunda fase quando se infiltrou água por meio do furo à trado até 3 m de profundidade e mais 5,17 mm na terceira fase quando se infiltrou água até a profundidade de 7 m, totalizando assim um recalque de apenas 10 mm devido ao colapso estrutural do solo. No entanto, ao se passar da carga de 177 kN para a carga de 206 kN ocorreu a ruptura da estaca, ou seja, 1,5 vezes a carga de trabalho em acordo com o preconizado por Cintra e Aoki (2009). Portanto, a carga limite para a estaca na condição de aumento umidade provocada, por exemplo, por um vazamento de água foi definida em função da carga máxima obtida na condição saturada.

Analisando-se a Figura 6a referente ao perfil de umidade próximo à estaca correspondente a prova de carga PC 21 em relação às curvas características mostradas na Figura 5a, verifica-se que para as quatro curvas características obtidas para as profundidades de 3 m, 5 m, 7 m e 9 m as sucções são apenas ligeiramente superiores à zona de macroporosidade variando entre 7 kPa e 10 kPa. Esses valores baixos de sucção, situados apenas ligeiramente acima da

zona de macroporosidade, justificam o pequeno recalque oriundo do colapso, mas mostram ao se comparar o resultado dessa prova de carga com o da PC 17 realizada com o perfil de solo no estado natural, que mesmo nessa situação a sucção é relevante para o comportamento das fundações assentes em perfis de solos não saturados.



(a)



(b)

Figura 6. a) Perfis de umidade; b) curvas carga x recalque.

4. CONCLUSÕES

A avaliação de comportamento em termos de capacidade de carga e deformabilidade nos casos em que as fundações estiverem assentes no horizonte colapsível devem ser avaliadas por meio de ensaios de campo e laboratório que levem em consideração a possibilidade do aumento do grau de saturação do solo. Não sendo possível quantificar a probabilidade de ruína ou a confiabilidade como preconizado por Silva (2011) para fundações assentes em solos

colapsíveis deve-se atender, em termos de coeficiente de segurança (FS), o $FS > 1,5$ sugerido por Aoki e Cintra (2009). Diante de tais peculiaridades também devem-se evitar fundações superficiais, sapatas e radiers, por estas estarem, entre outros fatores, mais susceptíveis a prováveis aumentos de umidade por infiltração de águas da chuva e servidas durante a vida útil do empreendimento. Também se deve atentar para esforços mecânicos excessivos nas proximidades das mesmas como, por exemplo, vibrações, pois, devido a metaestabilidade estrutural do solo podem gerar a sua instabilização estrutural. Destaca-se, no entanto, que o mais relevante nesse estudo de caso foi realçar a importância de se levar em consideração o comportamento não saturado do solo com base em informações como aquelas fornecidas pelas curvas características e perfis de umidade levando-se em conta o efeito sazonal. Nesse sentido salienta-se que as provas de carga foram realizadas no mês de agosto, ou seja, já na estação seca, e mesmo assim as umidades presentes nos perfis de solo asseguravam sucções pequenas atuantes no solo. Do ponto de vista geotécnico os estudos ofereceram mais segurança ao projetista e permitiu orientar a empresa executora sobre os cuidados a serem tomados em relação ao empreendimento de modo a manter a segurança das edificações.

5. CONCLUSÃO

A avaliação de comportamento em termos de capacidade de carga e deformabilidade nos casos em que as fundações estiverem assentes no horizonte colapsível devem ser avaliadas por meio de ensaios de campo e laboratório que levem em consideração a possibilidade do aumento do grau de saturação do solo. Não sendo possível quantificar a probabilidade de ruína ou a confiabilidade como preconizado por Silva (2011) para fundações assentes em solos colapsíveis deve-se atender, em termos de coeficiente de segurança (FS), o $FS > 1,5$ sugerido por Aoki e Cintra (2009). Diante dos resultados apresentados recomenda-se evitar fundações superficiais, sapatas e radiers, por estas estarem, entre outros fatores, mais

susceptíveis a prováveis aumentos de umidade por infiltração de águas da chuva e servidas durante a vida útil do empreendimento. Também se deve atentar para esforços mecânicos excessivos nas proximidades das mesmas como, por exemplo, vibrações, pois, devido a metaestabilidade estrutural do solo podem gerar a sua instabilização estrutural. Destaca-se, no entanto, que o mais relevante nesse estudo de caso foi realçar a importância de se levar em consideração o comportamento não saturado do solo com base em informações como aquelas fornecidas pelas curvas características e perfis de umidade levando-se em conta o efeito sazonal. Nesse sentido salienta-se que as provas de carga foram realizadas no mês de agosto, ou seja, já na estação seca, e mesmo assim as umidades presentes nos perfis de solo asseguravam sucções pequenas atuantes no solo. Do ponto de vista geotécnico os estudos ofereceram parâmetros ao projetista que facilitou a tomada de decisão e a mitigação dos riscos

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a e a Embre Engenharia, SCCAP Engenharia e a JC Gontijo Engenharia pela disponibilização dos dados aqui analisados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Camapum de Carvalho et al. (2015), Solos não Saturados no Contexto Geotécnico, Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, ABMS, São Paulo, 759p, ISBN 9788567950037.
- Cintra, J.C.A.; Aoki, N. (2009). Projeto de fundações em solos colapsíveis. Serviço Gráfico da EESC-USP, São Carlos, 99 p.
- Silva, C.M. (2011). Energia e Confiabilidade Aplicadas aos Estaqueamentos Tipo Hélice Contínua. Tese de Doutorado – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 311 p.