

Comportamento Geotécnico de Solos Lateríticos: Desafios e Estratégias para Fundações em Ambientes Tropicais

Angelo Dotto Ragagnin Prior

Discente do curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, angelodrprior@hotmail.com

Patricia Rodrigues Falcão

Doutoranda no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, falcao.rodrigues.patricia@gmail.com

Magnos Baroni

Docente do curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, magnos.baroni@gmail.com

RESUMO: Este artigo demonstra a avaliação da resistência e da deformação de um solo potencialmente colapsível e apresenta os resultados da capacidade de carga de estacas escavadas convencionais, reforçadas e flutuantes, executadas em Cruz Alta, no Rio Grande do Sul, Brasil, sob condições naturais e inundadas. Em laboratório, foram realizados ensaios de cisalhamento direto e de adensamento oedométrico simples, e em campo ensaios de prova de carga estática. As estacas avaliadas possuíam 3,00 m de comprimento e 0,30 m de diâmetro, sendo que, as estacas reforçadas foram concebidas pela inserção de uma camada compactada de pedra britada na base da perfuração e as flutuantes caracterizadas pela ausência de solo na ponta. Os principais resultados indicaram que a resistência ao cisalhamento do solo estava relacionada à sucção, evidenciada por uma redução de 81,0% na coesão, o ensaio de adensamento apontou o potencial de colapso do solo como problemático. Quanto aos ensaios de campo, as estacas convencionais apresentaram recalques significativos, a inserção do reforço na ponta da estaca resultou em um acréscimo de resistência na ponta, entretanto, este reforço foi anulado pela inundação. As estacas flutuantes desempenharam um papel crucial na compreensão do comportamento quanto ao atrito lateral e ponta das estacas convencionais.

PALAVRAS-CHAVE: Prova de carga, Colapsível, Resistência, Deformação, Capacidade de carga, Recalques.

ABSTRACT: This article demonstrates the evaluation of the resistance and deformation of a potentially collapsible soil and presents the results of the load-bearing capacity of conventional, reinforced, and floating bored piles conducted in Cruz Alta, Rio Grande do Sul, Brazil, under natural and flooded conditions. In the laboratory, direct shear and simple oedometer consolidation tests were performed, while field tests included static load tests. The evaluated piles had lengths of 3.0 meters and diameters of 0.3 meters. The reinforced piles were designed by inserting a compacted layer of crushed stone at the base of the excavation, while the floating piles were characterized by the absence of soil at the tip. The main results indicated that the soil's shear strength was related to suction, evidenced by an 81.0% reduction in cohesion, and the consolidation test pointed out the problematic collapse potential of the soil. Regarding the field tests, conventional piles showed significant settlements. The insertion of reinforcement at the pile tip resulted in an increase in tip resistance; however, this reinforcement was nullified by flooding. Floating piles played a crucial role in understanding the behavior of both the lateral friction and pile tip of conventional piles.

KEYWORDS: Load test, Collapsible, Resistance, Deformation, Load-bearing capacity, Settlements.

1 INTRODUÇÃO

Em países tropicais, como o Brasil, o qual possui um índice pluviométrico elevado, a influência da água na sucção dos solos não saturados é de extrema importância. Ao passo que a umidade dos solos não saturados varia, o seu comportamento também é modificado, de tal forma que essas flutuações impõem alterações nas propriedades físico-químicas do solo (CAMAPUM e GITIRANA, 2021). Um exemplo do impacto dessas oscilações são os solos colapsíveis, os quais em condições de baixa umidade possuem boa capacidade de carga, entretanto, quando submetidos a inundação sua coesão aparente é reduzida bruscamente e, por conseguinte, o material perde resistência (CINTRA, AOKI e ALBIERO, 2011).

Os solos não saturados são oriundos de condicionantes geológicas e geomorfológicas que concederam a esses materiais uma estrutura porosa, dentre estes, os colapsíveis possuem resistência baseada na sucção e potencial colapsível (CAMAPUM et al., 2015). Tal comportamento de colapsibilidade pode ser analisado pelo potencial de colapso do solo (PC), a partir de ensaios laboratoriais como o oedométrico simples, conforme presente nos estudos de Vargas (1978), Milititsky et al. (2015) e Jennings e Knight (1975). Ensaios em campo também podem auxiliar nessa percepção, ao avaliar a variação da coesão aparente por intermédio da execução de provas de carga na condição natural e inundada, como realizado nas pesquisas de Fernandes (1995), Camapum et al. (1995) e Lobo et al. (1991).

Diante disso, mostra-se relevante ponderar a respeito da capacidade de carga de estacas inseridas em solos não saturados, principalmente, os de caráter colapsível (WU e VANAPALLI, 2021; LIU e VANAPALLI, 2021). A previsão da capacidade de carga das fundações estacadas é de extrema importância (VOYAGAKI et al., 2021), porém, raramente consegue-se estimar a capacidade de carga com precisão maior que 30% (RANDOLPH, 2003). Nesse sentido, mostra-se indispensável a realização de ensaios de prova de carga, os quais são orientados pela NBR 16903 (ABNT, 2020).

A partir do contexto inserido, o fenômeno físico estudado pelas provas de carga é, em síntese, caracterizado pela mobilização das parcelas de resistência de ponta e atrito lateral, sendo a capacidade de carga total o somatório dessas contribuições (SCHNAID e ODEBRECHT, 2012). Existem alguns métodos que permitem a quantificação das parcelas supracitadas, como o Método de Van der Veen (VAN DER VEEN, 1953) e o Método da Rigidez (DÉCOURT, 1998). O Método da Rigidez (DÉCOURT, 1998) parte do pressuposto de que a rigidez é definida pela razão entre carga aplicada e o seu respectivo deslocamento, desse modo, é concebido um gráfico de rigidez *versus* carregamento e definidas por extrapolação as resistências por atrito lateral e de ruptura da estaca.

Com base no exposto, foram realizados ensaios de cisalhamento direto nas condições natural e inundada, como também, ensaios de adensamento oedométrico simples com inundação após o início do ensaio. Além disso, foram executados treze ensaios de prova de carga estática com carregamento lento em estacas escavadas convencionais, reforçadas e flutuantes em condições naturais e inundadas. Dessa forma, encontraram-se as capacidades de carga das estacas e determinaram-se as suas respectivas contribuições de resistência por ponta e atrito lateral por meio do Método da Rigidez (DÉCOURT, 1998). Por fim, foram comparados os resultados das provas de carga entre si, e avaliada a influência da inundação nos ensaios laboratoriais, nas resistências totais das estacas, bem como, em cada uma de suas parcelas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado no Campo Experimental de Engenharia Geotécnica, inserido na Universidade de Cruz Alta, localizada na cidade de Cruz Alta, Rio Grande do Sul, sob latitude 28°36'19'' e longitude 53°36'23'' (Figura 1 (a e b)). A localidade integra o Noroeste Rio-Grandense e seu solo é composto, principalmente, por basalto. Os processos erosivos oriundos do basalto resultaram em grandes porcentagens de partículas finas, e por conseguinte, elevados teores de óxido de ferro (hematita), nessa perspectiva, existe um predomínio de solos argilosos de comportamento laterítico nessa região. Falcão et al. (2023) caracterizou e classificou este solo para uma profundidade de 2,00 m, conforme apresenta-se na Tabela 1.

Foram realizados ensaios de adensamento oedométrico simples e de cisalhamento direto em amostras indeformadas, com intuito de aferir sobre o potencial de colapso do solo e de quantificar a perda de resistência devido à colapsibilidade. O ensaio oedométrico seguiu os preceitos da NBR 16853 (ABNT, 2020), porém foi realizada uma pequena alteração, na qual a amostra iniciou na condição natural de campo, sendo que após o equilíbrio das variações volumétricas para as tensões de 100kPa e 200 kPa, foi realizado o processo de inundação. Já o ensaio de cisalhamento direto foi realizado seguindo a D3080 (ASTM, 2012) para as tensões normais de 50, 100 e 200 kPa nas condições natural e inundada.

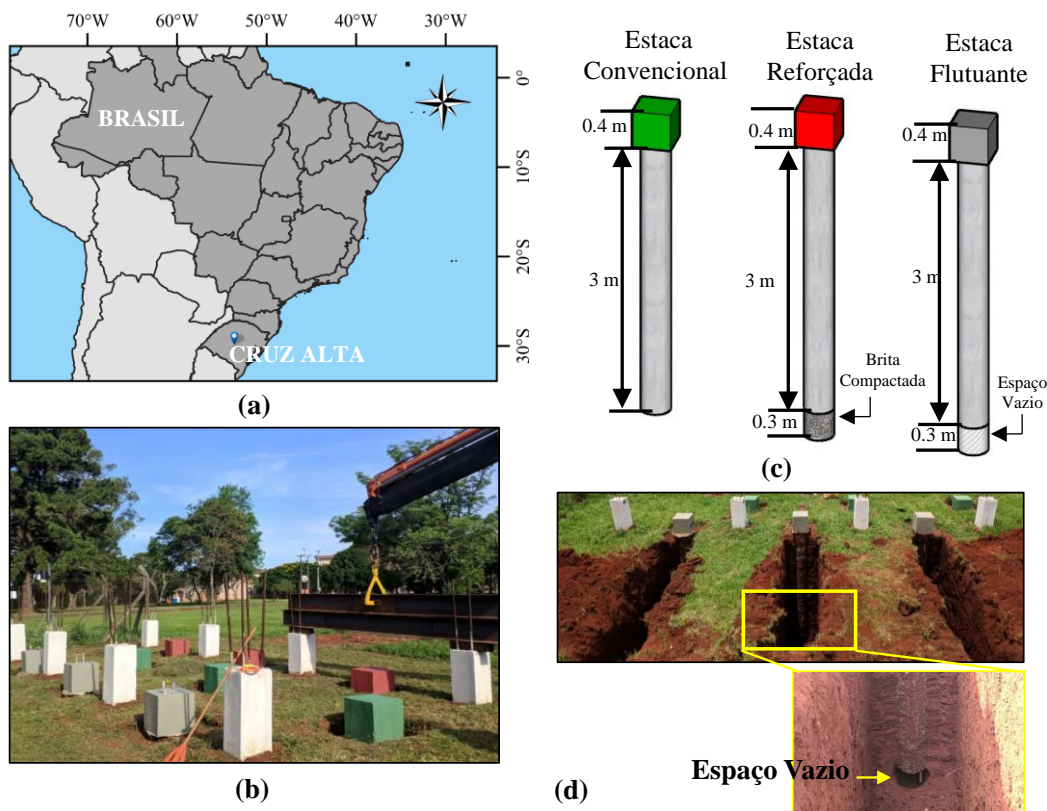


Figura 1. (a) Localização do Campo Experimental de Engenharia Geotécnica em Cruz Alta; (b) Configuração do Campo; (c) Tipologia e dimensões das estacas escavadas; e (d) Estacas escavadas exumadas.

Tabela 1. Caracterização física e classificação MCT e SUCS do solo (FALCÃO et al., 2023)

Parâmetros geotécnicos	
% pedregulho (> 2,0 mm)	0
% areia (0,6 - 0,2 mm)	22
% silte (2 µm – 0,06 mm)	16
% argila (< 2,0 µm)	62
Limite de Liquidez (%)	48
Limite de Plasticidade (%)	30
Índice de Plasticidade	18
Peso específico real dos grãos (kN/m ³)	27,9
Classificação MCT	LG'
Classificação SUCS	CL

Em campo, foram executados um total de treze ensaios de prova de carga, sendo estes divididos da seguinte forma: (a) dois ensaios na condição natural (CN-1 e CN-2) e dois na condição inundada (CI-1 e CI-2) para estacas convencionais; (b) três ensaios na condição natural (RN-1, RN-2 e RN-3) e três na condição inundada (RI-1, RI-2 e RI-3) para estacas com reforço; e (c) três ensaios na condição natural (FN-1, FN-2 e FN-3) para as estacas flutuantes. Para isso, as estacas de reação possuíam 6,00 m de profundidade e 0,30 m de diâmetro, enquanto a estaca submetida a compressão possuía 3,00 m de profundidade e 0,30 m de diâmetro.

Vale mencionar, que para as estacas com reforço, foi inserido 0,30 m de pedra britada compactada no fundo da perfuração e para as estacas flutuantes adicionou-se quatro discos de poliestireno expandido de 0,08 m de espessura e 0,30 m de diâmetro, os quais deixaram um espaço vazio na ponta, conforme pode ser visualizado, de modo ilustrativo, na Figura 1 (c). Na qual, o reforço em pedra britada possui coloração cinza escura e o espaço vazio possui coloração cinza clara. Além disso, nesta mesma figura, a coloração distinta dos blocos das estacas contém cunho meramente ilustrativo, não representando particularidades de campo. Nas

estacas flutuantes, interligados nas armaduras da estaca teste foram alocados dois tubos de PVC de 3,70 m de comprimento e 0,02 m de diâmetro, após a concretagem da estaca, por meio desses tubos foi possível inserir gasolina de alta octanagem e diluir os discos de poliestireno presentes na ponta da estaca.

Dessa forma, a Figura 1 (d) demonstra a exumação das estacas flutuantes, afim de garantir que apenas a resistência por atrito lateral foi mobilizada durante as provas de carga. Ainda, é possível visualizar que as estacas estavam imersas totalmente em solo laterítico, não apresentando distinção de camadas ao longo de sua profundidade. Salienta-se que os resultados dos testes de carga foram expostos de maneira bruta por Masutti et al., (2023) e Falcão et al., (2023). Entretanto, como não houve interpretação desses resultados, o objetivo do presente estudo é avaliar o atrito lateral e a resistência de ponta das estacas por meio da avaliação analítica destas.

Os intervalos de aplicação de carga, procedimentos executivos e intensidade do carregamento foram executados de acordo com a NBR 16903 (ABNT, 2020). Os ensaios sob inundação foram efetuados cerca de um ano após a realização dos ensaios na condição natural, sendo esses executados nas mesmas estacas. Para atingir a condição inundada, foram executados quatro furos com 3,00 m de comprimento e 0,50 m de diâmetro constituídos de areia e submetidos à vazão constante em um período de 96 horas.

Após os resultados oriundos das provas de carga, foi possível utilizar o Método da Rigidez proposto por Décourt (1998), o qual permite encontrar as cargas últimas e por atrito lateral das estacas. Assim, pode-se estimar e comparar as parcelas de atrito lateral e ponta para os diferentes tipos de estacas submetidas ou não ao processo de inundação em um solo potencialmente colapsível.

3 RESULTADOS

A Figura 2 (a) e (b) demonstra os resultados dos ensaios laboratoriais de cisalhamento direto, e em (c) são apresentados os resultados do ensaio de adensamento oedométrico simples. Os parâmetros de resistência obtidos para o ensaio de cisalhamento direto foram de 13,4 kPa para a coesão e $29,4^\circ$ para o ângulo de atrito na condição natural. Para o estado inundado, esses valores foram de 2,5 kPa e $25,6^\circ$, respectivamente. Os parâmetros de resistência alcançados para a condição natural foram superiores aos adquiridos para a condição inundada, entretanto, é indispensável atentar-se para as porcentagens redutivas de cada um dos parâmetros. Para a coesão, a redução atingiu um valor de, aproximadamente, 81,0%, enquanto, que para o ângulo de atrito esse decréscimo foi de apenas 12,9%. Tal constatação é de extrema valia, visto que a sucção (coesão aparente) do solo foi perdida com o incremento da água no sistema, neste caso, essa perda foi consideravelmente elevada, caracterizando o material como potencialmente colapsível.

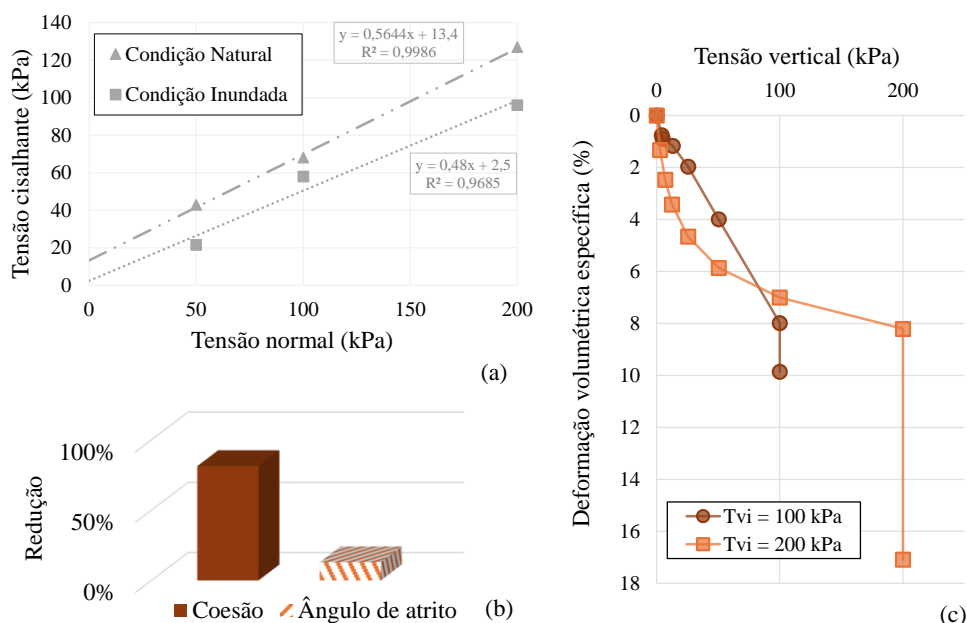


Figura 2. Ensaio laboratoriais: (a) Envolvória de ruptura; (b) influência da inundação; e (c) ensaio de adensamento oedométrico simples.

Quando ponderado o ensaio de adensamento, percebe-se um aumento brusco e exagerado da deformação volumétrica ao adicionar a inundação para as duas tensões analisadas, essa premissa concede ao solo um possível caráter colapsível diante do rearranjo das partículas com a inundação. Por meio da variação volumétrica final e inicial do corpo de prova foi possível aferir o seu potencial de colapso, dessa forma, obteve-se um PC de 2,2% para a tensão de 100 kPa e de 9,8% para 200 kPa. Vargas (1978) considera que potenciais de colapso maiores que 2,0% já caracterizam os solos como colapsíveis, sob outra perspectiva, Jenning e Knight (1975) declaram para uma tensão de 200 kPa, que um PC entre 5,0 e 10,0% caracterizam o solo como problemático e entre 10,0 e 20,0% como grave quanto à colapsividade. Nesse sentido, o solo em questão enquadra-se como problemático, sendo quase grave para a tensão de 200 kPa, em contrapartida, para Vargas (1978) o solo para as duas tensões mencionadas já sugere o fenômeno da colapsividade. A Figura 3 contém os resultados provenientes das provas de carga para os três tipos de estacas sugeridos pelo presente trabalho.

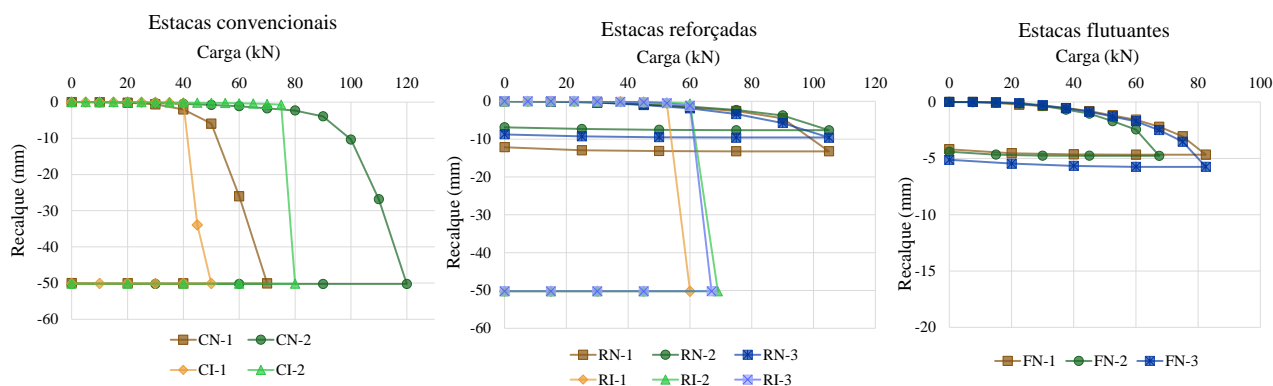


Figura 3. Resultados das provas de carga.

Pode-se identificar que o reforço com pedra britada elevou 50,0% da capacidade de carga das estacas em relação à estaca CN-1, porém em comparação com a estaca CN-2, este aumento não foi registrado sendo evidenciada uma redução de 12,5% no valor da resistência. Tal comportamento é explicado pelo fato de estacas curtas reterem maiores incertezas na medição de sua capacidade de carga, sendo neste caso atingida uma variação de 42,0% entre as estacas CN-1 e CN-2. Entretanto, para as estacas reforçadas e flutuantes na condição natural, as cargas últimas de ensaio não variaram mais do que 19,0%. Ademais, quando comparadas as estacas flutuantes, FN-1 e FN3, com a estaca convencional CN-2, verifica-se que a capacidade de carga da estaca convencional é representada, principalmente, pelo atrito lateral. Visto que, as estacas flutuantes não possuem ponta e que suas resistências correspondem a, aproximadamente, 80% da capacidade resistiva da estaca convencional mencionada.

Vale ressaltar, que o recalque nas estacas convencionais foi de 5,00 cm, evidencia significativa, uma vez que recalques dessa magnitude podem implicar em graves patologias nas estruturas. Para a condição natural, esse recalque mostrou-se cerca de 5 vezes maior do que os registrados para estacas reforçadas e 10 vezes mais elevado do que os das estacas flutuantes. É importante salientar que em nenhuma das curvas existiu retorno elástico das provas de carga na fase de descarregamento, ou seja, estima-se que as estacas alcançaram o seu limite resistivo.

Ao incrementar a inundação no sistema, constatou-se um decréscimo na capacidade de carga para todas as situações. Além disso, o recalque ocorreu de forma mais suave ao longo da aplicação da carga na condição natural, fato contrário ao atingido para as estacas inundadas, as quais possuíram um decaimento brusco após a inundação. Esta conduta indica solos potencialmente colapsíveis, já que o material coesivo possui sua resistência intrinsecamente conectada a coesão aparente, portanto, a inundação é um dos principais fatores da compressão volumétrica resultante do colapso (FALCÃO et al., 2023). A Figura 4 conduz às cargas de ruptura, atrito lateral e ponta obtidas pelo Método da Rigidez (DÉCOURT, 1998), cabe mencionar, que para as estacas flutuantes adotou-se a carga de ruptura da prova de carga diretamente como atrito lateral, devido à ausência de ponta em campo.

Foi possível observar que a inundação suspendeu o efeito do reforço por pedra britada, visto que as cargas de ruptura obtidas nessas estacas assumiram, praticamente, a mesma grandeza da convencional CN-1. Além disso, pode-se visualizar que o efeito da inundação atingiu, principalmente, a resistência por ponta,

diante dos maiores declínios nesta parcela do que por atrito lateral, com exceção apenas da estaca CN-2. Para ambas as condições analisadas, as estacas convencionais tiveram o seu comportamento resistivo regido em maior proporção pelo atrito lateral, já nas estacas reforçadas, o atrito lateral predominou apenas na condição inundada e na estaca RN-3, sendo que nas demais (RN-1 e RN-2), foi a resistência na ponta que prevaleceu durante o ensaio. Esta troca de conduta resistiva, na qual em condições naturais à estaca reforçada conduz a boas capacidades de carga regidas pelo ponta e quando submetidas a inundação alteram seu comportamento para menores resistências guiadas pelo atrito lateral é mais um indicativo de que o solo é potencialmente colapsível.

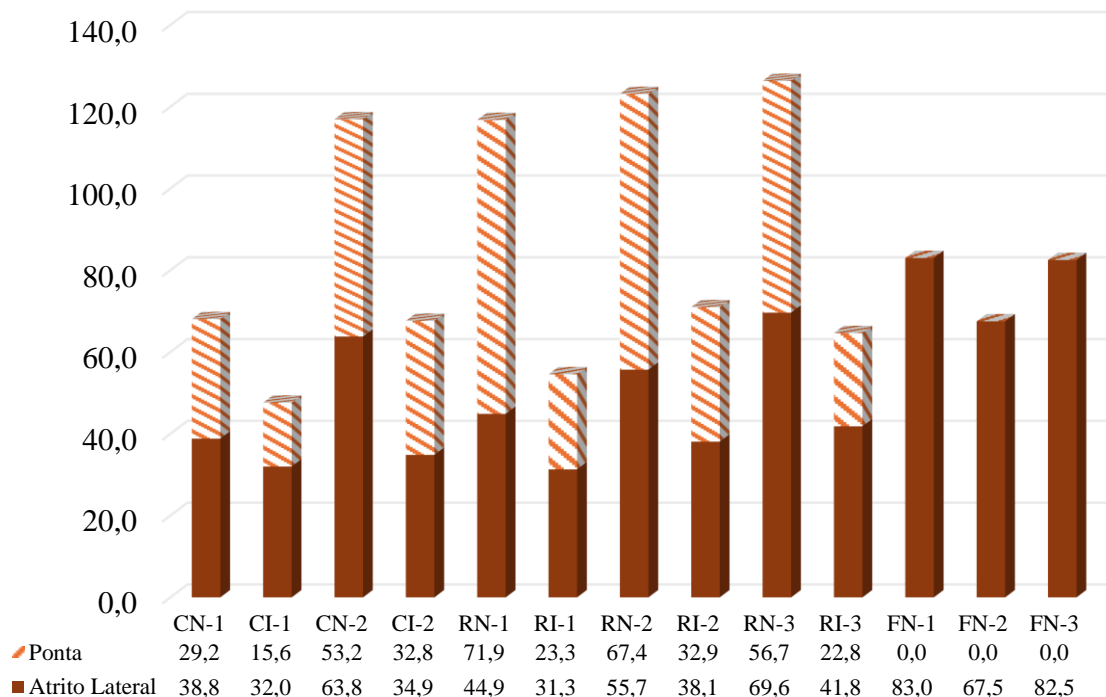


Figura 4. Parcelas de resistência das estacas em kN.

Na condição de reensaio com inundação, observou-se um aumento percentual na resistência por atrito lateral em todas as estacas. Massad apud Scallet (2011) sugere que esse aumento adicional poderia ser atribuído à resistência de ponta que ficou retida no primeiro ensaio. Vale ressaltar que essa abordagem é empírica e, devido à ausência de instrumentação, esses valores não puderam ser verificados. No entanto, como demonstrado, esse método proporcionou nortear algumas explicações que ajudaram a compreender a capacidade máxima de resistência das estacas.

Mediante as evidências apresentadas acima, tanto laboratoriais, quanto de campo, mostra-se relevante compreender o comportamento dos solos não saturados, visto que a variação da sucção no solo conduz a expressivas implicações. Neste caso, o dimensionamento equivocado de estacas, sem contabilizar os efeitos das variações climáticas e dos índices pluviométricos (inundação), podem gerar patologias significativas em edificações, obras geotécnicas ou de arte, devido ao recalque demasiado das fundações.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo apresentou os resultados dos ensaios de cisalhamento direto e adensamento oedométrico simples em amostras indeformadas nas condições naturais e/ou inundadas, além de exibir e investigar a respeito das capacidades de carga em estacas escavadas convencionais, reforçadas e flutuantes naturais e sob inundação. Ainda, foram atingidas as contribuições de resistência em ponta, atrito lateral e de ruptura das estacas por meio do Método da Rigidez (DÉCOURT, 1998) e comparou-se a influência da água em cada parcela e em cada tipo de estaca.

Pode-se aferir por meio do ensaio de cisalhamento direto que os parâmetros de resistência adquiridos na condição natural foram superiores aos da condição inundada, além disso, a inundação reduziu cerca de 81,0% o valor do intercepto coesivo, fato de extrema importância, visto que pode-se perceber a relação inerente entre resistência e sucção do material. Em relação ao ensaio oedométrico simples, identificou-se que o potencial de colapso para a tensão normal de 200 kPa sugere um solo problemático para Jennings e Knight (1975), enquanto que para Vargas (1978), o solo é caracterizado como colapsível para as tensões de 100 e 200 kPa.

Ao ponderar a respeito das provas de carga, pode-se verificar que, para a condição natural, o reforço com pedra britada auxiliou na resistência da fundação com relação à estaca CN-1, ao passo que, para a CN-2 essa contribuição não foi visualizada, devido à variação nos ensaios de prova de carga em estacas curtas. Além disso, por meio da análise das estacas flutuantes foi possível constatar que a capacidade de carga da estaca convencional é rígida, principalmente, pelo atrito lateral. Os recalques nas estacas convencionais, para a condição natural, mostraram-se exagerados em comparação com as estacas reforçadas e flutuantes nesta mesma condição, visto que seus valores atingiram cerca de 5 e 10 vezes mais amplitude do que para as estacas reforçadas e flutuantes, respectivamente.

Com relação a inundação, em todos os tipos de estaca estudados a inundação diminuiu a capacidade de carga. Nas estacas reforçadas, o incremento de água no sistema suspendeu a ação do reforço, além de, modificar as contribuições das parcelas de resistência das estacas, antes predominantemente dominadas pela ponta, e após a inundação, sendo orientadas pelo atrito lateral. Diante dos resultados apontados, concluiu-se que os solos não saturados de caráter colapsível necessitam de uma abordagem detalhada, a fim de prevenir recalques demasiados que podem gerar severas patologias nas edificações e ruptura de obras geotécnicas.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam sua gratidão ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos ao primeiro autor, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida ao segundo autor, e à Universidade Federal de Santa Maria pelo suporte fornecido para o desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR 16903. *Solo - Prova de carga estática em fundação profunda*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR 16853. *Solo – Ensaio de adensamento unidimensional*. Rio de Janeiro.
- ASTM International (2012). ASTM D3080: *Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions*.
- Camapum de Carvalho, J., Gitirana Jr, G. F. N. (2021). Unsaturated soils in the context of tropical soils. *Soils and Rocks*, 44 (3), p. 25.
- Camapum de Carvalho, J., Gitirana Jr, G. F. N., Machado, S. L., Mascarenha, M. M. A., Silva, F. C. F. (2015) *Solos não saturados no contexto geotécnico*, 1nd ed., Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, São Paulo, SP, BR, 530 p.
- Camapum de Carvalho, J., Melo, A. C., Santos Neto, P. M., Silva, C.M. (1995) Considerações sobre provas de carga em estacas em solos colapsíveis com inundação. In: Encontro sobre solos não saturados, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre/RS. ABMS. v. 1, p. 159-173.
- Cintra, J. C. A., Aoki, N., Albiero, J. H. (2011) *Fundações diretas*, Oficina de textos, São Paulo, SP, BR, 136 p.
- Décourt, L. (1998) Ruptura de Fundações e Coeficientes de Segurança a Luz do Conceito de Rigidez. In:

Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Brasília. *Anais...* Brasília/DF. ABMS. v. 3, p. 1599-1606.

Falcão, P. R., Baroni, M., Masutti, G. C., Pinheiro, J. B. P., Fagundes, D. F. (2023) Assessment of the impact of inundation on the strength of a lateritic and collapsible soil. *Geotechnical and Geological Engineering*, p. 13.

Fernandes, J. C. S. (1995) *Grupos de estacas escavadas de pequeno diâmetro em solo colapsível*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos / USP.

Jenning, J. K., Knight, K. (1975). The additional settlement of foundation due to collapse of sandy subsoils on wetting. In: *Proceeding of 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*.

Liu, Y., Vanapalli, S. K. (2021) Mechanical behaviour of a floating model pile in unsaturated expansive soil associated with water infiltration: laboratory investigations and numerical simulations. *Soil and Foundation*, 61 (4), p. 929-943.

Lobo, A. S., Albiero, J. H., Ferreira, C. V (1991) Influência da inundação do solo na carga última e estacas de pequeno porte. In: *Seminário de engenharia de fundações especiais*, São Paulo. *Anais...* São Paulo/SP. ABMS. v. 1, p. 207-216.

Masutti, G. C., Falcão, P. R., Barbosa, R. J. P., Souza, T. J. (2023) Load capacity evaluation of different typologies of short and small diameter piles. *Soils and Rocks*, 46 (3).

Milititsky, J., Consoli, N. C., Schnaid, F. (2015) *Patologia das Fundações*, Oficina de textos, São Paulo, SP, BR, 256 p.

Randolph, M. F. (2003) Science and Empiricism in Pile Foundation Design. *Géotechnique*, 53 (10), p. 847–875.

Scallet, M. M. (2011) *Comportamento de estacas escavadas de pequeno diâmetro em solo laterítico e colapsível da região de Campinas/SP*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas / UNICAMP, 164 p.

Schnaid, F. Odebrecht. E. (2012) *Ensaios de campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações*, 2nd ed., Oficina de Textos, São Paulo, SP, BR, 223 p.

Van der Veen, C (1953) The bearing capacity of a pile. In: *Proceeding of Third International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Zurich. *Proceedings...* Zurich, p. 84-90.

Vargas, M. (1978) *Introdução à Mecânica dos Solos*, McGraw-Hill, New York, NY, USA, 509 p.

Voyagaki, E., Crispin, J. J., Gilder, C. E. L., Ntassiou, K., O'Riordan, N., Nowak, P., Sadek, T., Patel, D., Mylonakis, G., Vardanega, P. J. (2021) The DINGO database of axial pile load tests for the UK: settlement prediction in fine grained soils. *Georisk*, p. 640-661.

Wu, X., Vanapalli, S. K. (2021) Three-dimensional modeling of the mechanical behavior of a single pile in unsaturated expansive soils during infiltration, *Computers and Geotechnics*.