XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.5/11

Análise de Prova de Carga Estática em Estaca Escavada a Trado Mecânico na Formação Barreiras, João Pessoa – PB

Gabriel Victor Barbosa Meireles
Engenheiro Civil, Centro Universitário de João Pessoa, João Pessoa, Brasil, v.gabrielmeireles@gmail.com

Wilson Cartaxo Soares
Engenheiro Civil, Copesolo & Concresolo, João Pessoa, Brasil, soares.wilson@gmail.com

RESUMO: Este trabalho apresenta a análise dos resultados de uma prova de carga estática executada em estaca escavada à trado mecânico, implantada na Formação Barreiras, na cidade de João Pessoa – PB. O objetivo principal é avaliar a capacidade de carga do elemento de fundação profunda e confrontar os resultados experimentais com estimativas obtidas por métodos semiempíricos amplamente utilizados na engenharia geotécnica brasileira. A metodologia adotada baseou-se na realização e interpretação da prova de carga estática, com análise da curva carga *versus* recalque, aplicação do critério normativo da ABNT NBR 6122 e utilização dos métodos de extrapolação de Van der Veen, modificado por Aoki, e do método de Rigidez de Décourt. A partir deste último, foram determinadas as parcelas de resistência de ponta e de atrito lateral mobilizadas durante o ensaio. Os resultados obtidos foram comparados com as capacidades de carga estimadas pelos métodos de Aoki–Velloso, Décourt–Quaresma e Teixeira. Verificou-se boa concordância entre os valores experimentais e as estimativas semiempíricas, embora com diferenças atribuídas às características geotécnicas heterogêneas da Formação Barreiras e ao método executivo da estaca. Conclui-se que a prova de carga estática constitui ferramenta fundamental para a verificação do desempenho de estacas escavadas e para a calibração de métodos de projeto em solos tropicais.

PALAVRAS-CHAVE: Prova de carga estática, Estacas escavadas, Métodos semiempíricos, Formação Barreiras.

ABSTRACT: This paper presents the analysis of the results of a static load test performed on a mechanically augered bored pile installed in the Barreiras Formation, in the city of João Pessoa, Brazil. The objective is to evaluate the load-bearing capacity of the deep foundation element and to compare the experimental results with estimates obtained from widely used Brazilian semi-empirical methods. The methodology was based on the interpretation of the load–settlement curve obtained from the test, as well as the application of the Van der Veen extrapolation method, modified by Aoki, and the Décourt Rigidity Method, allowing the evaluation of tip resistance and shaft friction components. Additionally, the results were compared with the semi-empirical methods proposed by Aoki–Velloso, Décourt–Quaresma and Teixeira. The results showed good agreement between the static load test and the analyzed methods, although some differences were observed due to the geotechnical characteristics of the Barreiras Formation and the pile construction process. The study highlights the relevance of static load tests as an essential tool for validating foundation design methods and assessing the performance of deep foundations in tropical soils.

KEYWORDS: Static load test, Bored piles, Semi-empirical methods, Barreiras Formation.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento urbano e a necessidade de implantação de estruturas cada vez mais complexas têm aumentado a demanda por sistemas de fundações profundas capazes de transmitir com segurança as cargas das edificações ao solo (Velloso e Lopes, 2010). Entre os diversos tipos de fundações profundas, as estacas escavadas com trado mecânico são amplamente utilizadas em áreas urbanas devido à sua facilidade executiva, baixo nível de vibração e menor impacto nas edificações vizinhas.

O dimensionamento dessas estacas normalmente é realizado por métodos semiempíricos, baseados em resultados de sondagens e correlações obtidas a partir de ensaios de campo (Aoki e Velloso, 1975; Décourt e Quaresma, 1978). Entretanto, a confiabilidade dessas estimativas depende das características geotécnicas locais e das condições executivas. Nesse contexto, a prova de carga estática é considerada o método mais confiável para avaliar o comportamento real de estacas em campo, permitindo determinar diretamente a relação entre carga aplicada e deslocamento da fundação (ABNT, 2019).

Na região Nordeste do Brasil, e particularmente na cidade de João Pessoa, grande parte das obras de fundação é executada em solos pertencentes à Formação Barreiras, unidade geológica caracterizada por depósitos sedimentares heterogêneos compostos por camadas de areia, silte e argila (Santos Júnior *et al*., 2015; Pereira *et al*., 2025). Estudos indicam que esses solos apresentam comportamento geotécnico bastante variável, com predominância de solos arenosos e propriedades mecânicas que podem variar significativamente em função do grau de cimentação e da umidade (Araújo *et al*., 2025).

Dessa forma, torna-se importante analisar resultados experimentais obtidos em campo e compará-los com as estimativas fornecidas pelos métodos tradicionais de dimensionamento. Assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar os resultados de uma prova de carga estática realizada em estaca escavada à trado mecânico na cidade de João Pessoa – PB, comparando a capacidade de carga obtida experimentalmente com valores estimados por diferentes métodos semiempíricos.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na cidade de João Pessoa, no estado da Paraíba, região onde predominam solos associados à Formação Barreiras, unidade geológica sedimentar de idade terciária amplamente distribuída ao longo do litoral do Nordeste brasileiro (Pereira *et al.,* 2025).

Esses depósitos são compostos principalmente por areias argilosas, siltes e argilas, apresentando estratificação irregular e elevada variabilidade lateral. Segundo Araújo *et al.* (2025), estudos realizados com banco de dados geotécnicos da Formação Barreiras indicam predominância de solos arenosos, representando aproximadamente 75% das amostras analisadas, com peso específico natural médio de cerca de 17 kN/m³.

As propriedades mecânicas desses solos variam significativamente, com valores de coesão natural entre 4 kPa e 384 kPa, dependendo das condições de saturação e do grau de cimentação natural. Essa heterogeneidade geotécnica torna essencial a realização de investigações de campo e ensaios que permitam avaliar o comportamento real das fundações implantadas nesses depósitos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo baseia-se na análise de uma prova de carga estática realizada em uma estaca escavada executada por trado mecânico, integrante do sistema de fundações profundas de um edifício residencial localizado no município de João Pessoa, estado da Paraíba. O comportamento geotécnico do subsolo foi previamente investigado por meio de sondagens de simples reconhecimento à percussão (SPT), executadas conforme as recomendações da ABNT NBR 6484, permitindo a identificação das camadas de solo e a obtenção dos respectivos índices de resistência à penetração (NSPT), amplamente utilizados na estimativa da capacidade de carga de fundações profundas (Velloso e Lopes, 2010).

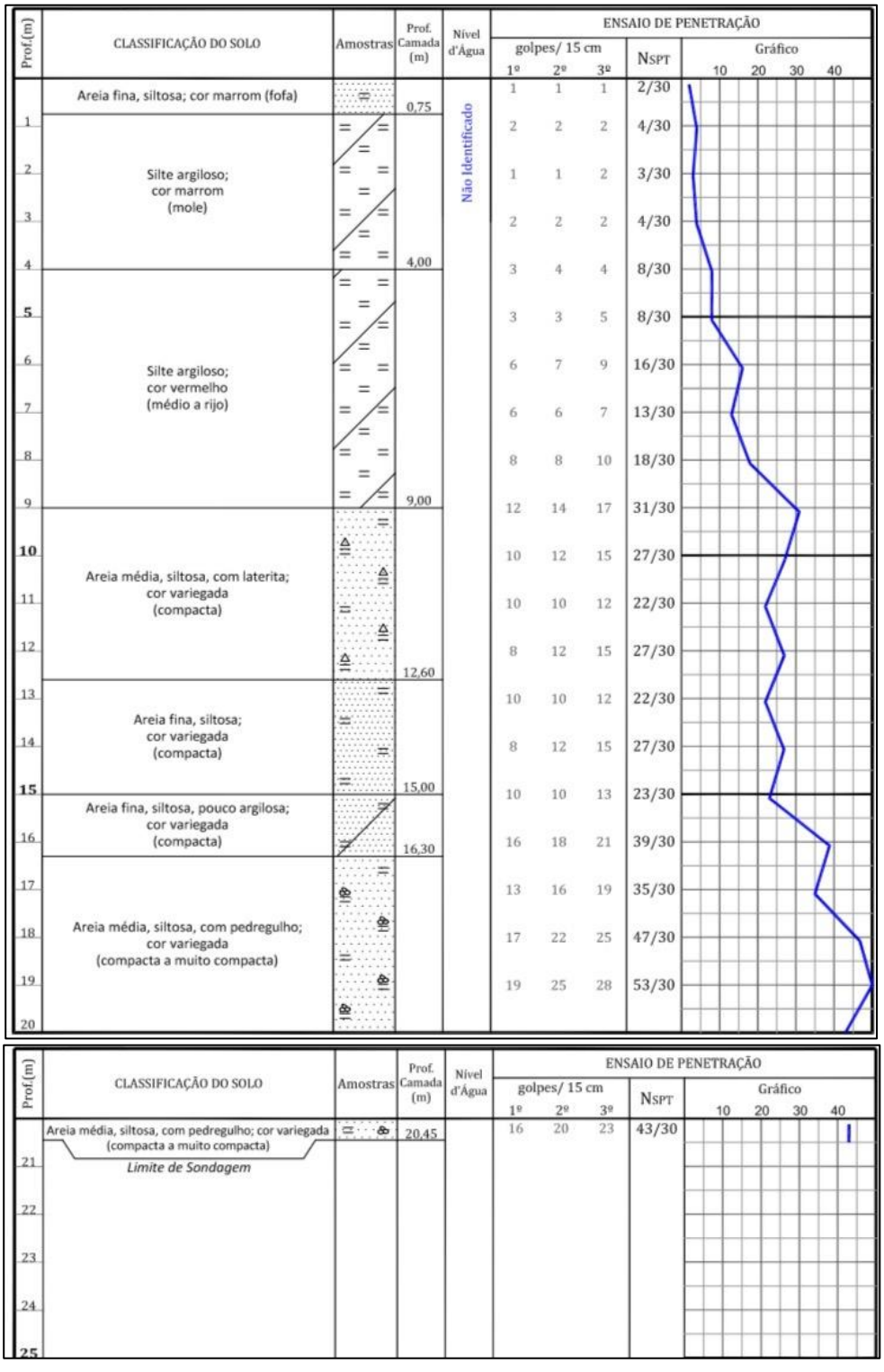


Figura 1. Sondagem de reconhecimento SPT

A fundação da edificação é composta por 105 estacas escavadas executadas por trado mecânico, com diâmetros variando entre 600 mm, 700 mm e 800 mm, e comprimentos executados entre 12,0 m e 13,0 m, conforme as condições geotécnicas encontradas no subsolo. A estaca selecionada para o ensaio foi identificada como estaca E3, executada com diâmetro de 600 mm e comprimento de 13,0 m, dimensionada para suportar uma carga de trabalho de ≈1,47 MN. Durante o ensaio, a estaca foi submetida a um carregamento máximo de ≈2,94 MN, correspondente ao dobro da carga de serviço, procedimento usual em provas de carga estática em

fundações profundas para avaliação do comportamento do sistema estaca–solo (Cintra e Aoki, 2010).
A execução da estaca ocorreu por meio de escavação com trado mecânico, seguida da colocação da armadura e posterior concretagem *in loco*. A ponta da estaca foi posicionada em camada de solo com maiores valores de resistência à penetração, conforme indicado pelos resultados das sondagens SPT realizadas na área do empreendimento. A escolha da estaca ensaiada considerou sua proximidade com os furos de sondagem disponíveis, buscando garantir maior representatividade entre o perfil geotécnico identificado e as condições reais do elemento de fundação analisado (Velloso e Lopes, 2010).

A prova de carga estática foi executada conforme os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 12131, utilizando sistema de reação composto por vigas metálicas e estacas de reação. O carregamento foi aplicado em incrementos sucessivos de carga, sendo cada estágio mantido por período suficiente para a estabilização dos recalques antes da aplicação do incremento seguinte. Os deslocamentos verticais da cabeça da estaca foram monitorados por meio de relógios comparadores de precisão, instalados em vigas de referência independentes do sistema de reação, permitindo o registro dos recalques ao longo do ensaio com elevada confiabilidade (ABNT, 2006).

Os resultados experimentais obtidos na prova de carga estática foram comparados com as capacidades de carga estimadas por meio de métodos semiempíricos baseados em dados de sondagem SPT, amplamente utilizados na prática da engenharia geotécnica brasileira para o dimensionamento de fundações profundas (Velloso e Lopes, 2010). Para essa análise comparativa foram utilizados os métodos propostos por Aoki e Velloso (1975), Décourt e Quaresma (1978) e Teixeira (1996), que permitem estimar a resistência de ponta e o atrito lateral das estacas a partir de correlações empíricas com os valores de NSPT obtidos nas sondagens.

A comparação entre os resultados da prova de carga estática e as estimativas obtidas pelos métodos semiempíricos permite avaliar o grau de conservadorismo dessas metodologias e verificar sua aplicabilidade para o dimensionamento de estacas escavadas em solos característicos da Formação Barreiras na região de João Pessoa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização Geotécnica do Subsolo

A investigação geotécnica, realizada por meio de sondagem à percussão (SPT), revelou um perfil de subsolo típico da Formação Barreiras. O local é marcado pela alternância de camadas de siltes argilosos e areias siltosas, com valores de NSPT crescendo de forma geral com a profundidade. Nos primeiros metros (até cerca de 5 m), predominam siltes argilosos de consistência mole a média, com NSPT entre 2 e 8 golpes. A partir dessa profundidade, há uma transição para camadas mais resistentes de areia siltosa, onde o NSPT varia entre 16 e 47 golpes, atingindo sua máxima resistência próximo à cota de assentamento da estaca, aos 13 m. Não foi identificado nível d'água durante a investigação, que se estendeu até a profundidade limite de 20,45 m.

4.2 Prova de Carga Estática e Curva Carga–Recalque

A estaca ensaiada (E3), do tipo escavada a trado mecânico com 0,60 m de diâmetro e 13,0 m de comprimento, foi submetida a uma prova de carga estática lenta conforme a ABNT NBR 12131. O sistema de reação, ilustrado na Figura 2, foi composto por quatro estacas de reação com as mesmas características da estaca ensaiada, interligadas por um conjunto de vigas metálicas (principal e secundárias), sobre as quais atuou um macaco hidráulico. A instrumentação contou com quatro extensômetros elétricos de contato (curso de 50 mm e precisão de 0,01 mm), fixados no topo do bloco de coroamento para a medição dos recalques.

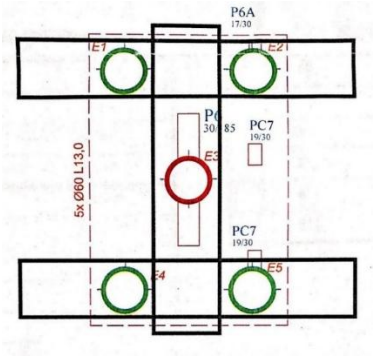


Figura 2. Arranjo experimental da prova de carga estática: sistema de reação por estacas e viga metálica, com destaque para a estaca ensaiada (E3).

A curva carga *versus* recalque obtida (Figura 3) apresenta um comportamento não linear, com recalques progressivamente maiores a cada estágio de carga, caracterizando a ausência de uma ruptura nítida até a carga máxima aplicada de 3,0 MN. O recalque máximo registrado foi de 18,98 mm, equivalente a aproximadamente 3,2% do diâmetro da estaca. Esse comportamento, típico de estacas escavadas em solos da Formação Barreiras onde a parcela de resistência de ponta é mobilizada mais lentamente, evidencia a necessidade de se recorrer a critérios de ruptura convencional ou métodos de extrapolação para a determinação da capacidade de carga última.

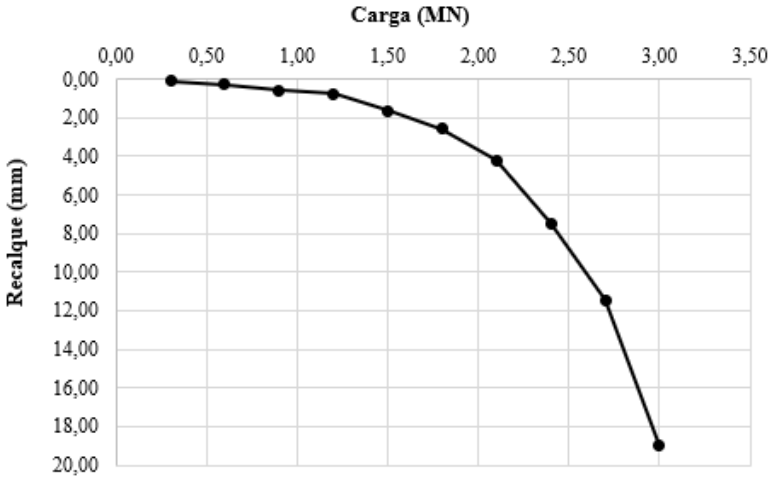


Figura 3. Curva carga *versus* recalque obtida na prova de carga estática.

4.3 Determinação da Capacidade de Carga por Métodos de Extrapolação

Na ausência de ruptura nítida, a capacidade de carga de ruptura (R) foi estimada pelos métodos de Van der Veen (1953) modificado por Aoki (1976) e pelo método da Rigidez de Décourt (1996). O método de Van der Veen, que ajusta uma função exponencial aos pontos experimentais, resultou em um excelente coeficiente de determinação ($R^2 = 0{,}986$), indicando um ótimo ajuste do modelo. A carga de ruptura obtida por esse método foi de 3,08 MN (Figura 4). Conforme os critérios de Cintra et al. (2013), a extrapolação é considerada confiável, uma vez que a relação entre a carga de ruptura estimada e a carga máxima do ensaio ($R/P_{máx} = 1{,}027$) é inferior a 25%.

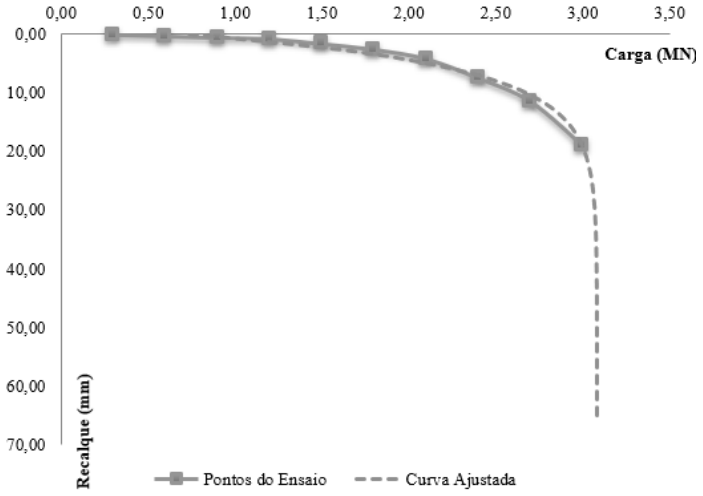


Figura 4. Extrapolação da curva carga *versus* recalque pelo método de Van der Veen (1953) modificado por Aoki (1976), indicando a carga de ruptura de 3,08 MN.

Pelo método da Rigidez de Décourt (Figura 5), a carga de ruptura convencional (R_c), associada a um recalque de 10% do diâmetro da estaca (60 mm), foi de 3,94 MN. Uma das principais vantagens desse método é a possibilidade de separar as parcelas de resistência. A partir da análise da rigidez, obteve-se uma resistência lateral (R_L) de 2,18 MN e uma resistência de ponta (R_p) de 1,76 MN. Isso evidencia que, para as condições do ensaio, o atrito lateral respondeu por cerca de 55% da capacidade de carga total da estaca, enquanto a ponta contribuiu com os 45% restantes. Essa distribuição é coerente com o comportamento de estacas escavadas em solos sedimentares, onde a parcela de atrito lateral é significativa e frequentemente preponderante.

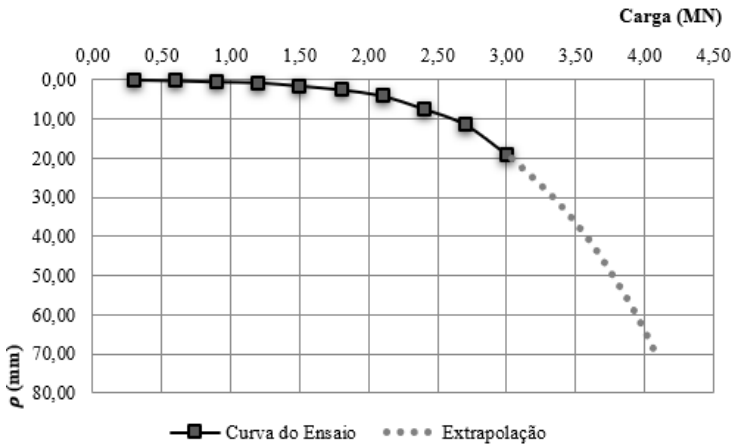


Figura 5. Gráfico de rigidez (Décourt, 1996) com identificação dos domínios de atrito lateral e ponta, e os respectivos valores de resistência.

4.4 Comparação com Métodos Semiempíricos

A capacidade de carga da estaca também foi estimada por três métodos semiempíricos clássicos: Aoki e Velloso (1975), Décourt e Quaresma (1978) e Teixeira (1996). A Figura 6 sintetiza a comparação desses valores com os resultados da prova de carga interpretada pelos métodos de Van der Veen e Rigidez de Décourt.

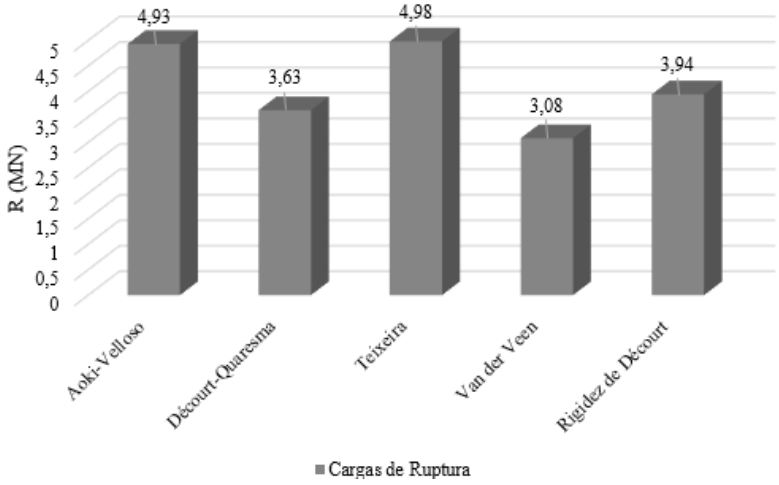


Figura 6. Comparação das cargas de ruptura estimadas pela prova de carga estática (Van der Veen e Rigidez de Décourt) e pelos métodos semiempíricos.

Os métodos semiempíricos de Aoki e Velloso (1975), Décourt e Quaresma (1978) e Teixeira (1996) foram aplicados para estimar a capacidade de carga e comparados aos resultados experimentais. Os métodos de Aoki-Velloso e Teixeira superestimaram significativamente a capacidade de carga, apresentando valores de 4,93 MN e 4,98 MN, respectivamente, o que representa diferenças da ordem de 60% a 62% em relação à extrapolação de Van der Veen e de 25% a 26% em relação ao método da Rigidez de Décourt. Já o método de Décourt-Quaresma apresentou a melhor aderência aos resultados experimentais, com carga estimada de 3,63 MN, diferença de apenas +17,9% em relação a Van der Veen e, mais notavelmente, -7,9% em relação ao seu próprio método de rigidez, demonstrando excelente nível de predição e consistência interna para este caso específico.

A análise estatística dos resultados revelou que a média das cargas de ruptura obtidas pela prova de carga (3,51 MN) é inferior à média de todos os métodos semiempíricos (4,11 MN), confirmando a tendência geral desses métodos em fornecerem estimativas a favor da segurança. O desvio padrão de 0,84 MN, correspondente a cerca de 20% da média geral, quantifica a dispersão inerente às diferentes formulações e interpretações, reforçando a importância de se calibrar tais métodos com resultados de provas de carga locais.

As divergências observadas podem ser atribuídas a fatores como a variabilidade natural dos solos da Formação Barreiras, com suas intercalações e heterogeneidades que nem sempre são perfeitamente capturadas por um único furo de sondagem; as hipóteses simplificadoras de cada método semiempírico, que correlacionam o NSPT à resistência do solo com base em bancos de dados regionais que podem não refletir com total precisão as características locais; e o efeito do método executivo da estaca escavada, que pode causar alívio de tensões e alterações nas propriedades do solo junto às paredes da escavação, influenciando a mobilização do atrito lateral.

Em síntese, a prova de carga estática revelou um comportamento de ruptura não nítida, típico de estacas escavadas na Formação Barreiras, sendo a capacidade de carga última estimada entre 3,08 MN e 3,94 MN. O método de Rigidez de Décourt mostrou-se fundamental para quantificar a contribuição do atrito lateral (55%) e de ponta (45%) na resistência total. A comparação com métodos semiempíricos evidenciou que o método de Décourt-Quaresma foi o que melhor se aproximou dos valores experimentais, enquanto os métodos de Aoki-Velloso e Teixeira apresentaram estimativas mais conservadoras. Esses resultados reforçam a aplicabilidade dos métodos semiempíricos em projetos na região, mas destacam a necessidade de cautela e, sempre que possível, a calibração com provas de carga locais para um dimensionamento mais preciso e economicamente eficiente.

5 CONCLUSÕES

A prova de carga estática realizada em estaca escavada a trado mecânico (0,60 m de diâmetro e 13,0 m de comprimento) em solo da Formação Barreiras, em João Pessoa-PB, revelou um comportamento não linear da curva carga *versus* recalque, com ausência de ruptura nítida até a carga máxima de 3,0 MN e recalque

máximo de 18,98 mm (3,2% do diâmetro). Esse comportamento é típico de estacas escavadas nessa formação geológica, demandando o uso de métodos de extrapolação para estimativa da capacidade de carga última.

Os métodos de extrapolação aplicados resultaram em cargas de ruptura de 3,08 MN (Van der Veen modificado por Aoki) e 3,94 MN (Rigidez de Décourt). Este último permitiu quantificar as parcelas de resistência, evidenciando que o atrito lateral contribuiu com 55% (2,18 MN) e a resistência de ponta com 45% (1,76 MN) da capacidade total da estaca. Na comparação com métodos semiempíricos, o método de Décourt-Quaresma (1978) apresentou a melhor aderência aos resultados experimentais, com carga estimada de 3,63 MN (diferenças de +17,9% em relação a Van der Veen e -7,9% em relação à Rigidez de Décourt). Os métodos de Aoki-Velloso (1975) e Teixeira (1996) superestimaram significativamente a capacidade de carga, com valores entre 4,93 MN e 4,98 MN (diferenças de 60% a 62% em relação a Van der Veen).

A análise estatística confirmou a tendência conservadora dos métodos semiempíricos, com média das estimativas (4,11 MN) superior à média das provas de carga (3,51 MN). As divergências observadas decorrem da variabilidade natural dos solos da Formação Barreiras, das hipóteses simplificadoras de cada método e dos efeitos do processo executivo sobre o solo adjacente. Os resultados reforçam a aplicabilidade dos métodos semiempíricos em projetos de fundações na região, desde que calibrados com provas de carga local, e contribuem para o dimensionamento mais preciso e economicamente eficiente de fundações profundas na Formação Barreiras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aoki, N. (1976) *Considerações sobre a capacidade de carga de estacas através de provas de carga*. São Paulo.

Aoki, N., Velloso, D.A. (1975) *An approximate method to estimate the bearing capacity of piles. In: Proceedings of the 5th Pan American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Buenos Aires.*

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006) NBR 12131: Estacas – Prova de carga estática. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019) NBR 6122: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020) NBR 6484: Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro.

Cintra, J.C.A., Aoki, N. (2010) *Fundações por estacas: projeto geotécnico. Oficina de Textos, São Paulo*.

Cintra, J.C.A., Aoki, N., Albiero, J.H. (2013) *Fundações: ensaios estáticos e dinâmicos. Oficina de Textos, São Paulo.*

Décourt, L. (2008) *Provas de carga em estacas podem dizer muito mais do que têm dito. In: Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia (SEFE), São Paulo.*

Décourt, L., Quaresma, A.R. (1978) *Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Rio de Janeiro.*

Pereira, N.N.T. et al. (2025) *Aplicação de metodologia proposta para mapeamento de risco geológico-geotécnico de escorregamentos em João Pessoa – PB. Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas (COBRAE).*

Teixeira, A.H. (1996) *Estacas: capacidade de carga. In: Hachich, W. et al. Fundações: teoria e prática. Pini, São Paulo.*

Van der Veen, C. (1953) *The bearing capacity of a pile. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Zurich*.

Velloso, D.A., Lopes, F.R. (2010) *Fundações. Oficina de Textos, São Paulo.*