



Desempenho das Estacas Metálicas com Seção Decrescente Cravadas nas Areias Basais da Cidade de São Paulo

Dirney Cury Filho

Gerente Técnico, G2Base Fundações e Contenção, São Paulo-SP, Brasil, dirney.cury@gmail.com

José Luiz de Paula Eduardo

Sócio Diretor, Apoio Assessoria e Projeto de Fundação, São Paulo-SP, Brasil, apoioapf@terra.com.br

David de Carvalho

Professor, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo-SP, Brasil, d33c@uol.com.br

Alline Evangelista Silva

Coordenadora de Projetos, Apoio Assessoria e Projeto de Fundação, São Paulo-SP, Brasil, alline.ev@gmail.com

Rodrigo Belli Vieira

Engenheiro Geotécnico, Apoio Assessoria e Projeto de Fundação, São Paulo-SP, Brasil, ro.belli.vieira@gmail.com

RESUMO: Este trabalho apresenta um segundo caso publicado de uso de estacas metálicas com seção decrescente, cravadas nas areias basais da cidade de São Paulo, com comprimento de 48 m. Foram adotados dois tipos de perfis (famílias) e foram realizadas duas provas de carga estáticas, uma em cada tipo de perfil apresentado no projeto. Através dos resultados obtidos foram retroanalisados as metodologias de Alonso (2008) e Decourt (1996) e para determinação da carga de ruptura utilizou-se os critérios da NBR 6122 (ABNT, 2022), Rigidez (1998) e Terzaghi (1943). As areias basais são um solo típico da região central da cidade de São Paulo e mais estudos sobre o comportamento de fundações profundas neste solo precisam ser publicados. A metodologia de Decourt (1996) se mostrou eficaz para estimativa da carga de ruptura. Os critérios da NBR 6122 (ABNT, 2022) e Rigidez (1998) não se mostraram satisfatórios devido as suas premissas. O critério de Terzaghi coincidiu com o último estágio de carregamento em ambos os casos. A solução adotada se mostrou satisfatória quanto ao desempenho geotécnico e execução. Com mais dados publicados as metodologias semiempíricas puderam ser aprimoradas, bem como a escolha da família dos perfis (seção decrescente).

PALAVRAS-CHAVE: Estaca Metálica, Seção Decrescente, Areia Basais, Prova de Carga.

ABSTRACT: This paper presents a second published case of using tapered metal piles driven into the basal sands of São Paulo city, with a length of 48 m. Two types of profiles (families) were adopted, and two static load tests were conducted, one for each profile type presented in the project. Based on the obtained results, the methodologies of Alonso (2008) and Decourt (1996) were retroanalyzed, and the ultimate load was determined using the criteria of NBR 6122 (ABNT, 2022), Rigidity (1998), and Terzaghi (1943). The basal sands are a typical soil in the central region

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



sefe 10

of São Paulo city, and further studies on the behaviour of deep foundation on this soil are needed. The Decourt methodology (1996) proved effective in estimating the ultimate load. The criteria of NBR 6122 (ABNT, 2022) and Rigidity (1998) are not satisfactory due to their assumptions. The Terzaghi criteria coincided with the ultimate loading stage in both cases. The adopted solution demonstrated satisfactory geotechnical performance and execution. With more published data, the semi-empirical methodologies can be improved, as well as the selection of the profile family (tapered section).

KEYWORDS: H Pile, Tapered Section, Basal Sands, Static Load Test,

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



Realização:



Avenida Rebouças, 353, Sala 74 A
Cerqueira César, São Paulo/SP, 05401-900
Telefone: (11) 3052-1284
E-mail: abef@abef.org.br

Organização:



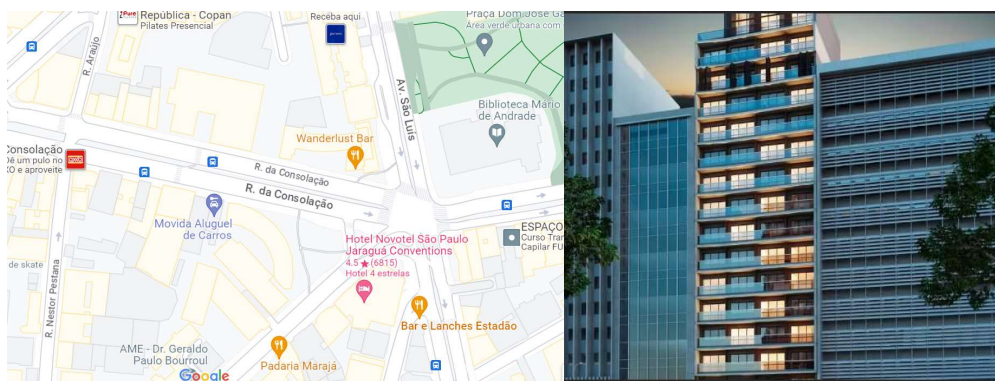
Avenida T-9, 2310 - Ed. Inove Intelligent Place
Sala B701, Jardim América, Goiânia/GO, 74255-220
E-mail: secretaria@qeeventos.com.br
Site: www.qeeventos.com.br

1 Introdução

A utilização de estacas metálicas como solução de fundação vem, cada vez mais, ganhando espaço no setor imobiliário e de infraestrutura na construção civil. Um exemplo foi o pioneiro caso publicado por Niyama *et al* (2014) no Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos, onde foram utilizadas estacas metálicas com seção decrescente em areias basais como solução de fundação, em um edifício residencial no centro de São Paulo.

Neste trabalho é apresentado um segundo caso onde também foi adotado como solução de fundação de um edifício residencial, estacas metálicas com seção decrescente cravadas nas areias basais da cidade de São Paulo. O Projeto preveu a utilização de 173 estacas metálicas com perfis laminados ASTM A572 Grau 50 e da família 310 com espessura de aba (mesa) e alma variando ao logo do seu comprimento. Também foi previsto a realização de duas provas de carga estática para controle do desempenho das fundações, conforme preconizado na NBR 6122 (ABNT, 2022).

O edifício está na sua fase final de construção e deve ser entregue ainda no ano de 2023. Possui torre única, térreo + 17 pavimentos e está localizado entre a Rua Nestor Pestana e Av São Luis, região central da Cidade de São Paulo. A seguir é apresentado a localização do edifício e uma perspectiva da fachada da construção.



Figuras 1 e 2. Macro localização e perspectiva da fachada.

2 Areia Basais

Desde a década de 40, através de estudos de sondagens do I.P.T., foi evidenciado a presença de areia médias e grossas, pouco argilosa com compacidade variável, sotopostas a camadas argilosas rijas e ao embasamento de rochas gneissicas decompostas (VARGAS, PINTO, MARINHO, 1998).

Pichler (1948), fez as primeiras descrições das camadas do Terciário de São Paulo e apresentou um perfil longitudinal, norte – sul, do solo de São Paulo distinguindo quatro horizontes, sendo: (1) Argila vermelha; (2) Argila variegada com camadas de areia argilosa; (3) Areia e areia argilosa; (4) Rocha. Neste terceiro horizonte, abaixo aproximadamente da cota 730 e acima da rocha que corresponde ao que veio ser chamado de “areias basais” (Figura 3), encontrados justamente na base dos sedimentos terciários (VARGAS, PINTO, MARINHO, 1998).

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



As areias basais possuem compacidade fofa a compacta e preenchem o fundo da Bacia Sedimentar da Cidade de São Paulo, sobre o embasamento rochoso ou sobre "taguá" (argilas duras cinza-esverdeadas de grande ocorrência na cidade de São Paulo), conforme Vargas *et al* (1998). É apresentado na Figura 3 uma seção esquemática geológica / geotécnica da cidade de São Paulo.

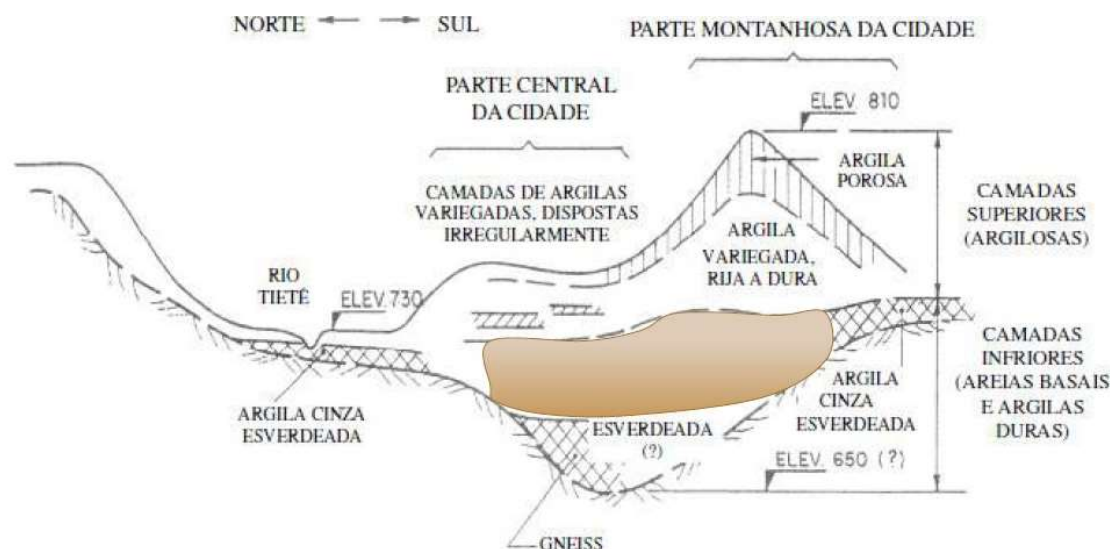


Figura 3. Seção Geológica / Geotécnica, Norte – Sul da cidade de São Paulo. (MARINHO, VARGAS, VILAR, 1998; apud MASSAD, TWIN, CITIES, 2013).

3 Características da Obra

3.1 Perfil Geológico / Geotécnico

Para caracterização geológica / geotécnica foram utilizados 4 furos de sondagem. O terreno possui um formato retangular com dimensões aproximadas de 13,0 m X 76,0 m, sendo 4 furos de sondagem à percussão tipo SPT suficiente para caracterização do subsolo local.

O subsolo local é composto por sedimentos, sendo: até ~ 14,0 m de profundidade foi verificado a presença de argila pouco arenosa com valores de N_{spt} médio de 10 golpes. Abaixo, foi verificada uma camada de areia fina a grossa com valores de N_{spt} inferior a 10 golpes até 45 metros de profundidade e inferior a 30 golpes até 60 metros de profundidade. É apresentado na Figura 4 a seção do subsolo local através das sondagens SPT. As sondagens também apresentaram pequenas camadas (espessura de 1 metro) de argila siltosa pouco arenosa, intercalada com as areias basais.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



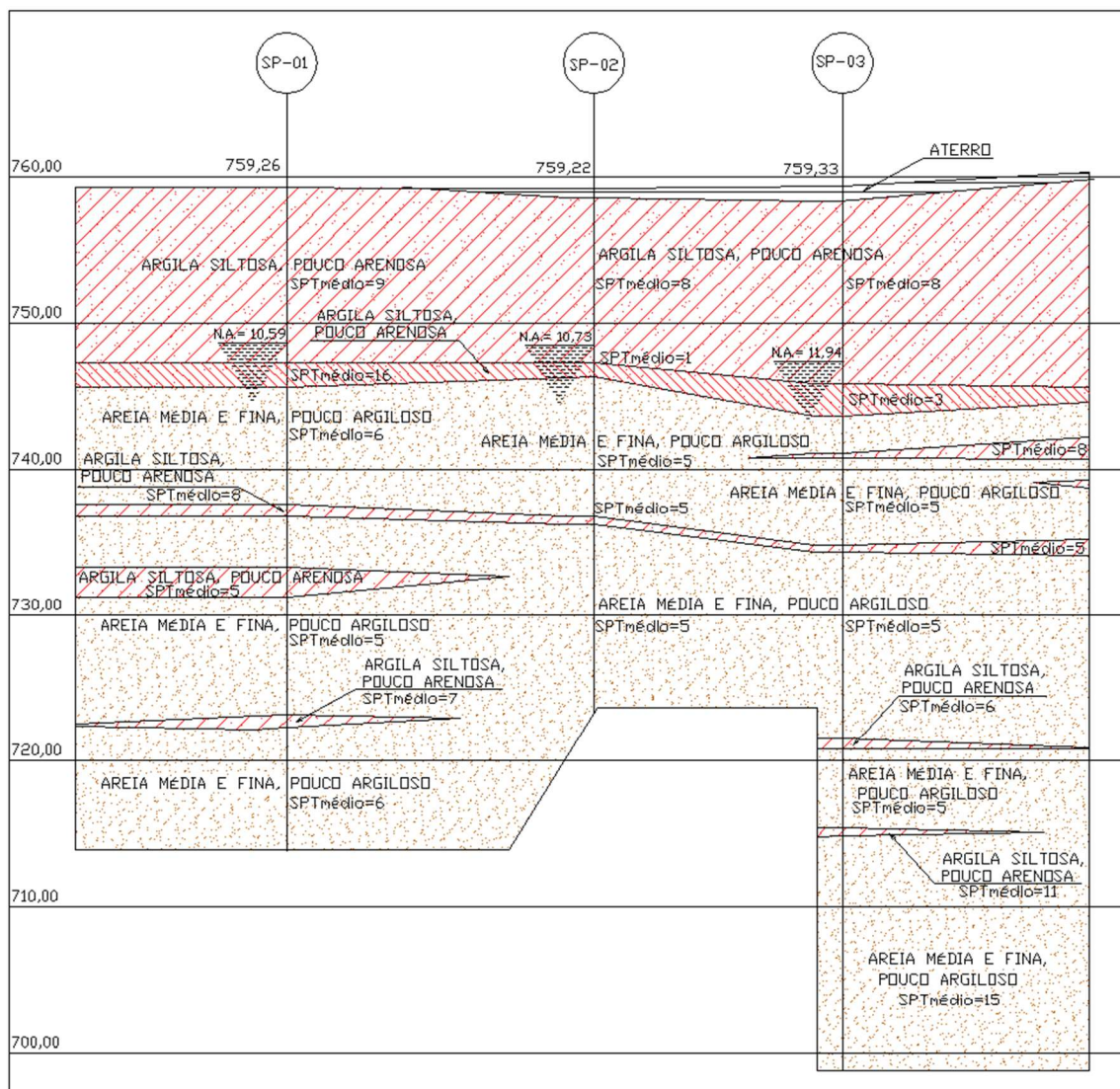


Figura 4. Seção geológica / geotécnica da obra.

3.2 Projeto de Fundação

O Projeto de Fundação previu a execução de 173 estacas metálicas com perfil laminado grau 50. A família adotada foi de 310 com seção decrescente, ou seja, variando a espessura da aba (mesa) e alma do perfil ao longo da profundidade, consequentemente deixando a estaca mais “leve” em comparação com uma estaca metálica com apenas uma seção de perfil, sendo ele o mais pesado da família que foi adotada no projeto.

Para dimensionamento geotécnico da fundação utilizou-se as consagradas metodologias semiempíricas de Alonso (2008) e Decourt (1996). Através da distribuição de carga ao longo da profundidade foi definido o tipo do perfil a ser utilizado, conforme ilustrado na Figura 5.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



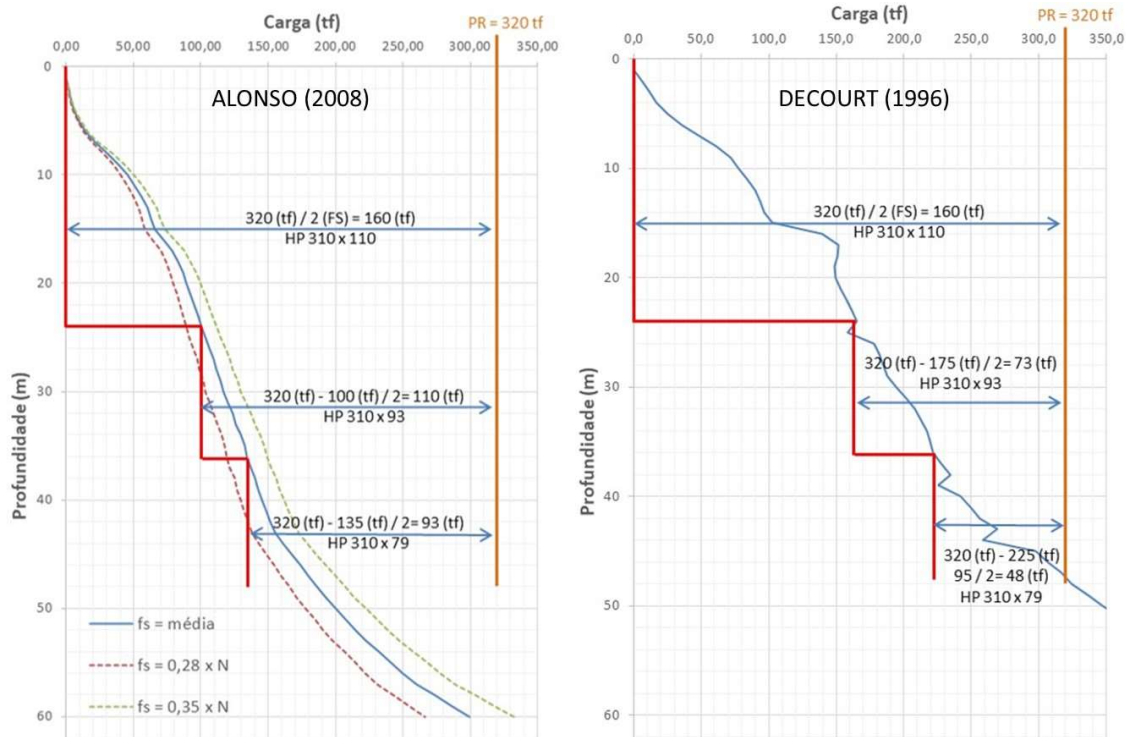


Figura 5. Dimensionamento geotécnico através de métodos semiempíricos

Na Figura 6 é apresentada a composição adotada no Projeto de Fundação com a sua respectiva carga de trabalho.

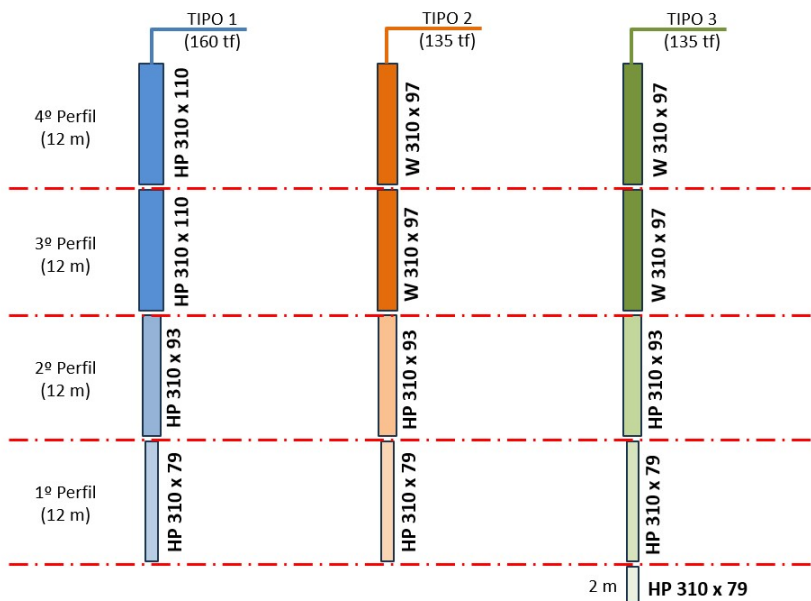


Figura 6. Composições das estacas metálicas adotadas no Projeto.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



Como é possível observar na Figura 6, os perfis Tipo 2 e 3 tem a mesma carga de trabalho e a mesma seção decrescente, com excessão de um comprimento de 2 metros no perfil Tipo 3. Esse comprimento foi necessário devido a 4 pilares do empreendimento estarem localizados na divisa entre o terreno e o vizinho, no qual irá trabalhar também como contenção em relação a diferença de cotas do vizinho para obra. Por fim, podemos dizer que os perfis Tipo 1 e 2 foram os utilizados como solução de fundação para 90% do estaqueamento da obra.

3.3 Prova de Carga Estática

Nos perfis tipo 1 e 2 foram realizadas provas de carga estática para controle do estaqueamento. Em cada ensaio foram utilizadas quatro estacas de reação do mesmo tipo da estaca ensaiada, a ligação entre as estacas de reação e a viga de transferência de carga foi do tipo “rótula” sendo utilizado monobarra DW47 como elemento de transferência. Na Figura 7 são apresentados os resultados obtidos durante o ensaio e na Figura 8 um *croqui* do sistema da prova de carga.

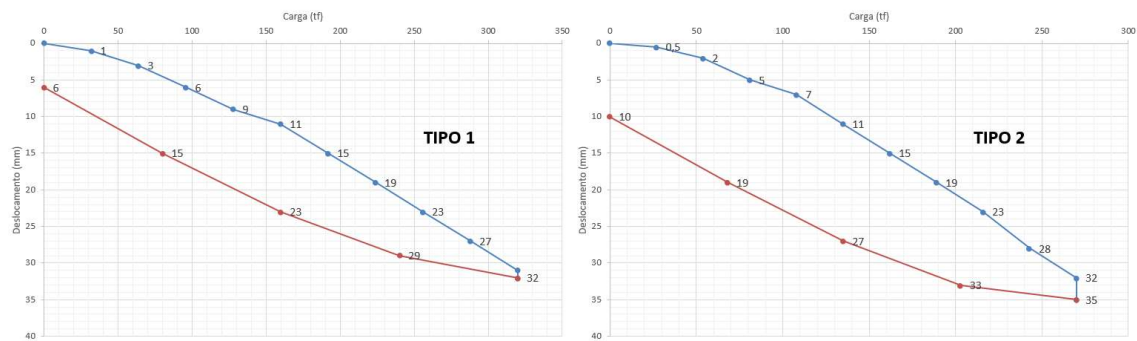


Figura 7. Curva Carga VS Deslocamento dos dois ensaios

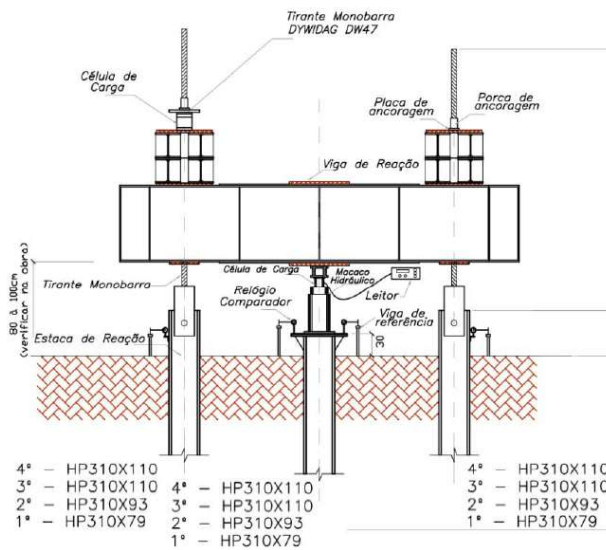


Figura 8. *Croqui* da prova de carga do perfil Tipo 1

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



4 Análise dos resultados

Como é possível visualizar na Figura 5, na metodologia semiempírica proposta por Alonso (2008) atinge-se a carga de 320 tf com 60 m de profundidade, considerando adesão lateral de $0,35 \times N$. Já na metodologia de Decourt (1996) as estacas atingem sua capacidade de carga com 48m de comprimento. Neste projeto a metodologia adotada foi a de Decourt (1996).

É destacado a semelhança no desempenho das estacas com Tipos diferentes de perfil, para ambos os casos o recalque na carga de trabalho foi de 11 mm e na carga total (2 x carga de trabalho) um pouco mais de 30 mm. As estacas **não** estão apoiadas em solo muito resistente, portanto, predomina o desempenho geotécnico por atrito lateral o que ajuda os resultados a serem semelhantes. Também é destacado que Niyama *et al* (2014) chegou a resultados parecidos a esses.

Para determinação da carga de ruptura das estacas foram utilizados os critérios da NBR 6122 (ABNT, 2022), Terzaghi (1943) e Gráfico da Rigidez (1998). O critério da NBR 6122 (ABNT, 2022) leva em consideração a deformação elástica da estaca e por se tratar de uma estaca longa (~48 m de comprimento) o resultado tende a ser elevado. O Gráfico da Rigidez ilustra uma tendência do resultado paralelo a abscissa "X", ou seja, a partir do 3º estágio de carregamento não há interceção com a abscissa "X" não sendo definido, claramente, a carga de ruptura. No critério proposto por Terzaghi (1943) houve a interceção com o último estágio de carregamento, em ambos resultados. Na Figura 8 é apresentado o Gráfico de Rigidez (1998) e na Figura 9 os Critérios de ruptura pela NBR 6122 (ABNT, 2022) e Terzaghi (1943).

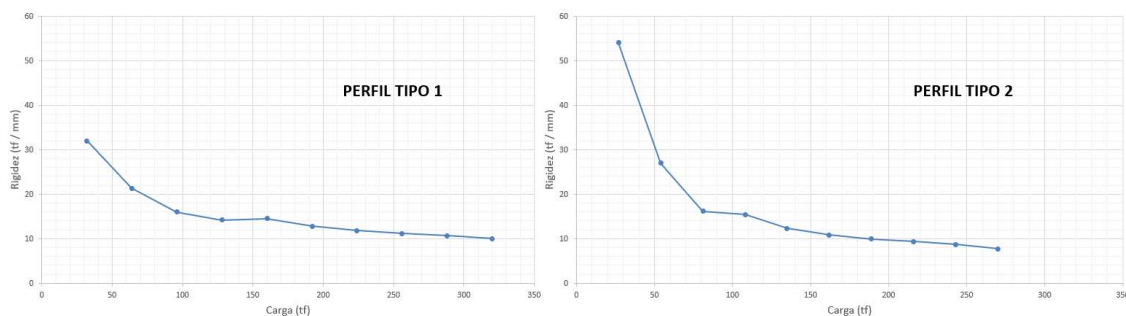


Figura 8. Gráfico de Rigidez aplicado nos resultados da prova de carga.

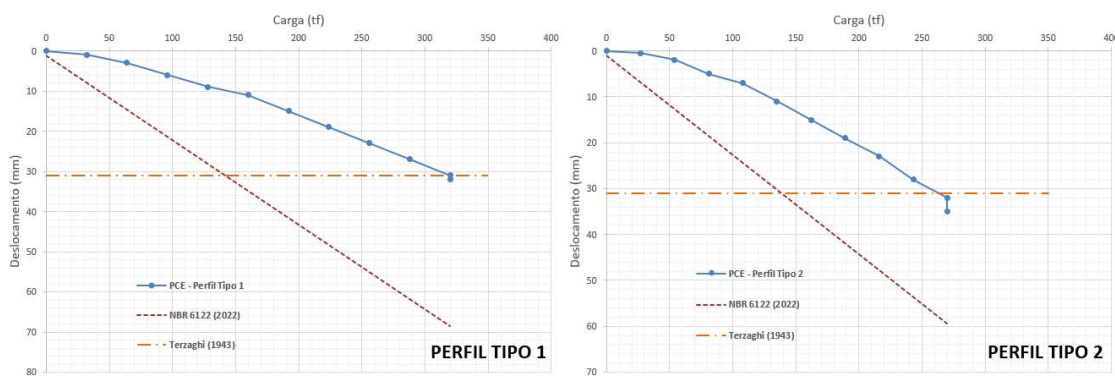


Figura 9. Aplicação do critério da NBR 6122 e de Terzaghi.

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



5 Conclusões

As areias basais são um solo típico da região central da cidade de São Paulo e seu comportamento é associado a propriedade de deformabilidade de argilas, conforme relatado por VARGAS, PINTO, MARINHO (1998). Mais estudos de fundações profundas nas areias basais são necessários.

A metodologia semiempírica de Decourt (1998) mostrou-se satisfatório para estimativa do desempenho geotécnico. A mesma metodologia foi adotada no pioneiro artigo publicado por Niyama *et al* (2014).

O critério de ruptura da NBR 6122 (ABNT, 2022) precisa ser ajustado quando se trata de estacas longas, uma vez que a deformação elástica é predominante no cálculo. O Gráfico de Rigidez (1998) também precisa ser ajustado quando a curva fica “paralela” a abscissa "X", não atingindo carga de ruptura nítida. É ressaltado que estacas longas trabalhando predominantemente por atrito lateral não tem carga de ruptura nítida e sim deformação, ou seja, é necessário verificar se o estado limite de serviço da edificação atende com o recalque obtido no resultado da prova de carga (deve-se levar em consideração o efeito de grupo).

O critério proposto por Terzaghi, para determinanr a carga de ruptura, se mostrou uma alternativa interessante. Dentro das premissas adotadas no Projeto de Fundação, o último estágio de carregamnto de ambos os ensaios foi o mesmo valor proposto por Terzaghi (1943).

A solução de fundação em estacas metálicas se mostrou uma boa alternativa, considerando desempenho geotécnico, prazo de execução e praticidade do controle de canteiro e cravação.

Esse é apenas um segundo caso publicado e mais ensaios adotando esse tipo de fundação em areias basais são necessário para aprimoramento de metodologias semiempíricas e, também, na melhor adoção da família de perfil (seção decrescente) para cada tipo de carga de trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, U. R. (2008) *Previsão da Capacidade de Carga Geotécnica de Estacas Metálicas com Ponta em Solo "Pouco Competente"*. In: SEFE IV, São Paulo. Anais, v.1, p. 487-495.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2022). NBR 6122. *Projeto e Execução de Fundações*. Rio de Janeiro.
- Cury Filho, D. (2016) *Previsão da Carga de Ruptura de Estacas Metálicas Submetidas a Esforços de Compressão em Solo de Diabásio da Região de Campinas / SP*, Dissertação de Mestrado, UNICAMP, 223p.
- Cury Filho, D.; Nogueira, R. R. C.; Paschoalin Filho, J. A.; Carvalho, D. (2016) *Estudo da Carga de Ruptura de Trilhos Metálicos de Seção Simples, Carregados à Compressão em Solo de Diabásio da Região de Campinas - SP*; CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, Belo Horizonte, MG.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.





- Cury Filho, D.; Nogueira, R. R. C.; Paschoalin Filho, J. A.; Carvalho, D. (2015) *Análise da Carga de Ruptura de uma Estaca Metálica Carregada à Compressão em Solo de Diabásio da Região de Campinas / SP.* in: SEFE XVII, São Paulo.
- DÉCOURT, L. (1996) *Análise e Projeto de Fundações Profundas: Estacas.* In: HACHICH et al. (eds.). *Fundações: teoria e prática.* São Paulo: PINI, 1ed, 1998.p. 265-301.
- DÉCOURT, L. (1998) *Ruptura de Fundações e Coeficiente de Segurança a Luz do Conceito de Rigidez.* In: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, Brasília. Anais, v3, p. 1599-1606.
- Niyama, S.; Eduardo, J. L. P.; Atala, R. Oliveira, L. S. (2014) *Uso de Estacas Metálicas de Seção Transversal Decrescente Cravadas nas Areias Basais da Cidade de São Paulo;* CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, Goiânia, GO.
- Terzaghi, K. (1943) *Theoretical Soil Mechanics.* JOHN WILEY AND SONS, New York, 511p.
- Vargas, M.; Pinto, C.S. e Marinho, F.A.M. (1998). *As Areias Basais de São Paulo.* CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, Vol. II, 721 p.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.

