



Evolução das técnicas e dos tipos de estacas metálicas da Cidade do Recife - Casos de obras

Marina Didier Amorim

Doutoranda, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, marinadamorim@gmail.com

Alexandre Duarte Gusmão

Professor Associado, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil,

alexandreduarteusmao@gmail.com

Gilmar Brito Maia

Diretor de Projetos, Gusmão Engenheiros Associados, Recife, Brasil, gilmar@gusmao.eng.br

Victor Hugo Mendes Rufino

Desenhista Projetista, Gusmão Engenheiros Associados, Recife, Brasil, vitoorgun@hotmail.com

Sílvia Romero Melo Ferreira

Professor Titular, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, sr.mf@hotmail.com

RESUMO: A utilização de estacas metálicas tem viabilizado a construção de edifícios cada vez mais altos em Recife, tanto pelas características geológico-geotécnicas do subsolo, como pela necessidade de resistir a elevados esforços horizontais devido ao porte destas edificações. Foram selecionadas 4 obras residenciais importantes na evolução das técnicas executivas e de projetos em estacas metálicas. A primeira obra é de um edifício com fundação em trilhos metálicos no ano de 2000. A segunda, em 2002, obteve fundações em estacas compostas por perfis metálicos soldados. O terceiro caso relata a fundação de dois edifícios com estacas metálicas com seção decrescente com a profundidade em 2005. E, em 2008, um edifício com fundação em estacas mistas: pré-moldadas de concreto com ponta metálica. Concluiu-se que foi possível evoluir em projetos de fundações com estacas metálicas devido às novas tecnologias e estudos realizados, assim como à versatilidade, diversidade e alto limite de escoamento do aço.

PALAVRAS-CHAVE: Estacas metálicas, Projetos de fundações, Casos de obras.

ABSTRACT: The use of steel piles has enabled the construction of increasingly higher buildings in Recife, both due to the geological and geotechnical characteristics of the subsoil, and to resist high horizontal forces due to the height of these buildings. It was selected 4 residential buildings that were important in the evolution of executive techniques and design in steel piles. The first work is a building with a foundation from metallic rails in the year 2000. The second, in 2002, obtained foundations on piles composed of welded steel profiles. The third case reports the foundation of two buildings using metallic piles with a decreasing section with depth in 2005. And, in 2008, a building that obtained its foundation in mixed piles: precast concrete piles with steel tip. It was concluded that it was possible to evolve in projects of foundations with metallic piles due to the new technologies and studies carried out, as well as the versatility, diversity and high yield strength that steel has.

KEYWORDS: Steel piles, Foundation design, Study cases.

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



1 Introdução

Na história, uma das conquistas que mais trouxe benefício para humanidade foi a de saber fazer e utilizar o aço. Os períodos históricos dentro da evolução da humanidade foram marcados pelo poder de transformação do homem e dos minérios em estado bruto encontrados por ele na natureza. A fronteira entre o ferro e o aço foi definida na Revolução Industrial, com intervenções de fornos que permitiram adicionar propriedades como resistência ao desgaste, ao impacto e a corrosão. Como elemento de construção permitiu a montagem de grandes estruturas em forma de pontes, edifícios, galpões, ferrovias e fábricas. Assim como também viabilizou o concreto armado, pelo emprego do vergalhão de reforço (GRIGOLETTI, 2014).

A primeira fábrica de ferro no Brasil foi criada em 1532. Quase 400 anos depois, em 1941, foi fundada a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN). O grupo Gerdau iniciou seu estabelecimento em Porto Alegre em 1901.

Nos últimos trinta anos, a utilização de estacas de perfil metálico tem crescido no Brasil com a disponibilização no mercado de grande variedade de bitolas em aço com limite de escoamento de 345 MPa. Essa oferta de bitolas permitiu a utilização de estacas longas constituídas de perfis com peso de aço decrescente com a profundidade, otimizando o consumo de aço (Adaptado de ROCHA et al. 2006) e GUSMÃO et al., 2006).

A cidade do Recife apresenta duas paisagens distintas: os morros e a planície. A maior parte da ocupação urbana e das obras de grande porte se localizam na planície e em torno de 50% da área da planície pode, ser encontrados depósitos de argila mole (GUSMÃO FILHO, 1998). A prática atual de fundações do Recife é fortemente direcionada pelas características geológico-geotécnicas do subsolo, ainda que outros fatores influenciem na escolha, e sejam assim encontrados diversos tipos de fundações na cidade, dentre eles, estacas metálicas.

2 Estacas Metálicas

Até o final da Década de 90, a maioria das estacas metálicas eram formadas por trilhos usados (especialmente o TR-68). Atualmente, no entanto, essa solução praticamente desapareceu do mercado de obras de grande porte (prédios acima de 10 pavimentos), dando lugar às estacas formadas por perfis soldados e laminados (Gusmão et al, 2006).

Estacas metálicas são constituídas por peças de perfil laminado ou soldado tais como perfis de seção I e H, chapas dobradas de seção circular (tubos), quadrada e retangular bem como trilhos, estes geralmente reaproveitados após sua remoção de linhas férreas. Tanto perfis quanto trilhos podem ser empregados como estacas em sua forma simples ou composta de vários elementos, como mostrado na Figura 1. Este tipo de estaca pode ser cravado com a utilização de martelos de queda livre, martelos hidráulicos, martelos a diesel, martelos pneumáticos e martelos vibratórios. A escolha de um ou outro martelo depende, principalmente, das características do solo, do comprimento da estaca e do nível de ruído e vibração (GERDAU, 2015).

No dimensionamento da estaca como elemento estrutural, para o subsolo de Recife, usualmente, desconta-se uma espessura de 1,5 mm da seção transversal em contato com o solo, de acordo com as recomendações da NBR-6122. O aço (A-572 GR50) utilizado nos perfis laminados, tem um limite de escoamento de 345 MPa e um limite de resistência de 450 MPa (Gusmão et al, 2006).

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



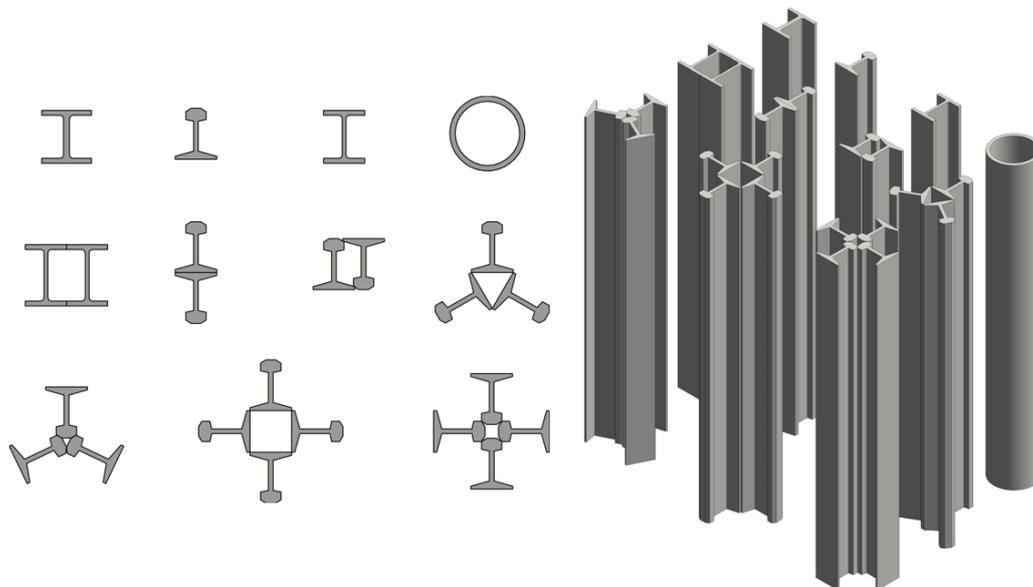


Figura 1. Seções transversais e 3D de estacas metálicas: peças simples e soldadas. (Adaptado de Alonso, 1998)

3 Metodologia

Inicialmente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre fundações em estacas metálicas (aspectos executivos e de projeto). Depois, foram entrevistados consultores, projetistas e empresas executoras de fundações na cidade do Recife para estabelecer uma ordem cronológica do uso de estacas metálicas como elemento de fundação na mesma cidade.

Foram selecionados 04 tipos de estacas metálicas e técnicas diferentes, que foram marcos deste processo evolutivo: estacas metálicas tipo trilho; estacas metálicas com perfis soldados; estacas metálicas com perfis laminados e; estacas mistas pré-moldadas de concreto com ponta metálica. E em seguida, uma empresa de projetos e consultoria geotécnica local cedeu seu banco de dados para que fosse realizada uma busca dos primeiros projetos de fundações executados na cidade com os quatro tipos de estacas mencionados para consolidar as técnicas. As 04 obras serão apresentadas no próximo item, e, para melhor ilustração das obras, foi realizada uma modelagem detalhada das estacas de cada projeto, em BIM, utilizando o software Revit.

4 Casos de Obras

Os 04 casos de obra, aqui apresentados, são edificações residenciais, com estruturas aporticadas de concreto armado, localizadas na RMR. O primeiro projeto se refere a um edifício que teve sua fundação em trilhos metálicos no ano de 2000. O segundo edifício obteve seu projeto de fundações com estacas metálicas compostas por perfis metálicos soldados, em 2002. O terceiro caso corresponde a dois edifícios pioneiros quanto ao uso de estacas metálicas com seção decrescente com a profundidade, no ano de 2005. E por fim, é relatada a obra de um edifício com fundação projetada em estacas mistas: pré-moldadas de concreto com ponta metálica, primeira obra que utilizou esta técnica na cidade, além de também ter sido a primeira obra em que foi utilizado martelo hidráulico para cravação de estacas em Recife, em 2008.

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





4.1 Obra A – Estacas metálicas tipo trilhos (Ano: 2000)

A edificação está localizada no bairro de Casa Forte, na cidade de Recife. O início da construção deste edifício foi em 2000, nesta época, era o primeiro edifício acima de 40 lajes na cidade, com um total de 42 lajes. Na região da lâmina do prédio, há um total de 19 pilares e 62 na periferia. As cargas verticais permanentes na lâmina variam de 3.750 a 23.020 kN, além de existirem esforços horizontais expressivos decorrentes da ação do vento. As sondagens realizadas no terreno mostram um subsolo com estratigrafia apresentada na figura 2a.

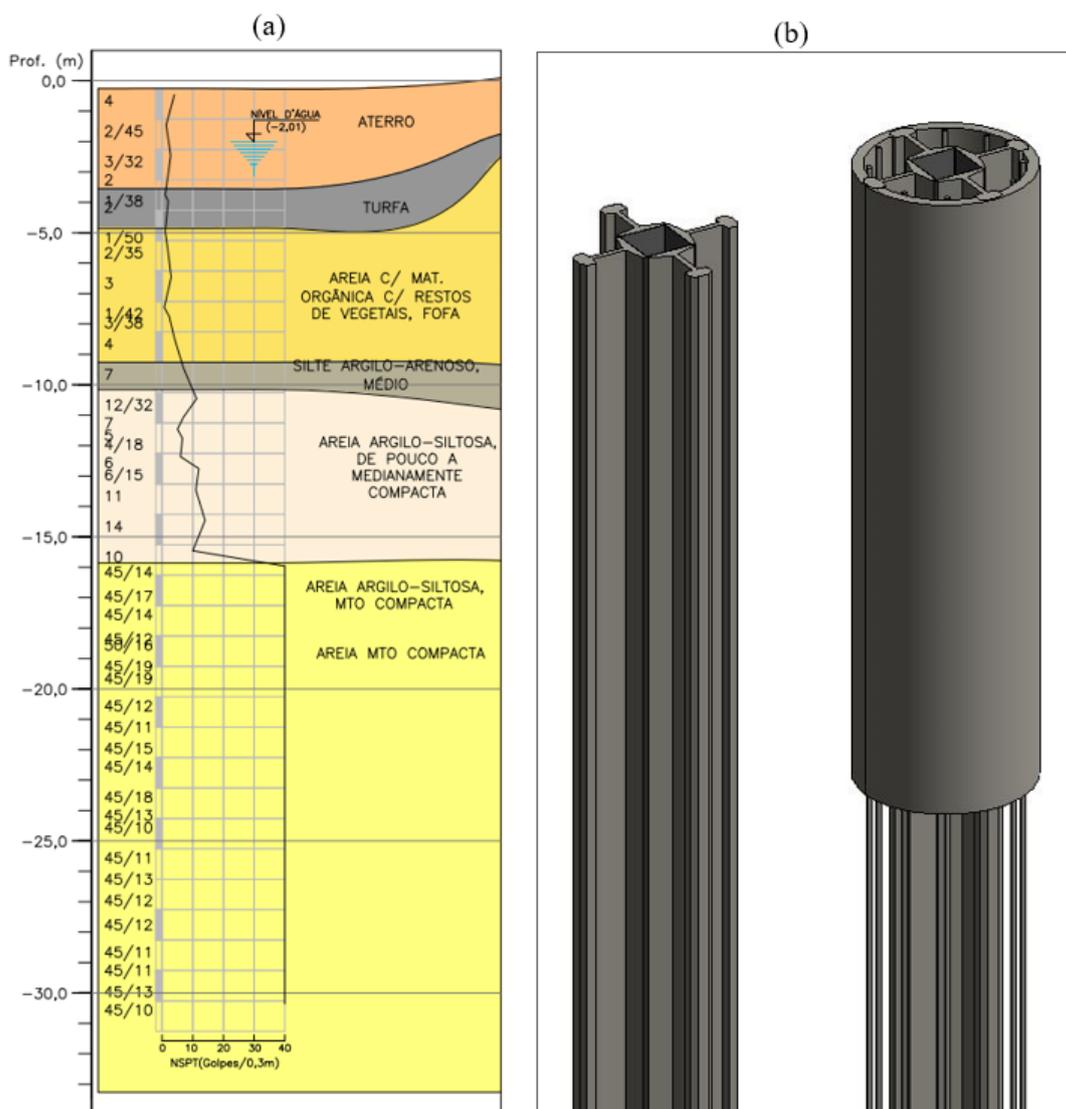


Figura 2. (a) Perfil simplificado. (b) Seção transversal e vista 3D das estacas 4(TR-68) convencional e encamisada (sem escala).

As fundações do prédio foram projetadas em estacas metálicas tipo trilhos. Inicialmente, ao analisar as estacas trabalhando apenas a compressão axial, foi determinado que seriam

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





utilizadas seções de 3(TR-68) e 4(TR-68), com 16 m de comprimento (a partir da cota 0,00) e estacas submetidas a tensões de 72 MPa para o carregamento permanente e de 93,6 MPa para o carregamento total. Sabendo-se que a tensão média de compressão em trilhos novos é da ordem de 80 MPa (GUSMÃO, 1994), as estacas estariam atendendo à sua capacidade de suporte. Ao realizar as combinações de cargas horizontais atuantes nos pilares, verificou-se que o carregamento era muito elevado e a pequena seção e inercia das estacas projetadas não atendiam ao limite de escoamento do aço. Para verificar o efeito das cargas horizontais, foi considerado um terreno com módulo de reação horizontal linearmente crescente com a profundidade ($n_h = 3500 \text{ kN/m}^3$) para encontrar o momento fletor máximo, utilizando do Método de Miche. Como resultado, dos 19 pilares da lâmina, considerando a associação de 08 deles, 07 dos 15 blocos havia tensões acima do limite aceitável nas estacas (93,6 MPa), chegando até a 295,4 MPa.

Para solucionar o problema e manter o projeto em estacas metálicas tipo trilhos, já que a compra dos trilhos já havia sido efetuada, foi estudada uma alternativa em aumentar a seção da estaca no trecho onde o diagrama de momentos fletores atuasse nas estacas decorrente do seu carregamento transversal. Foram projetadas estacas metálicas compostas por 4(TR-68) encamisadas com uma chapa metálica de 1/8" de espessura, com armadura longitudinal composta por 8 barras de 16 mm, e armadura transversal de 8,0 mm de diâmetro espaçada a cada 20 cm, sendo a camisa preenchida com concreto plástico estrutural com fck mínimo de 20 MPa. A figura 2b, mostra com detalhe as estacas. O projeto contemplou um total de 86 estacas com seção de 4(TR-68) com camisa metálica e 21 estacas de 4(TR-68) convencionais (soldadas pelas abas). As estacas foram cravadas com martelo de queda livre.

4.2 Obra B – Estacas metálicas com perfis soldados (Ano: 2002)

O segundo caso de obra, trata-se de um edifício com 32 lajes, localizado na Av. Boa Viagem, Recife. Há um total de 15 pilares na lâmina, com cargas permanentes variando de 5.650 a 12.220 kN, além de cargas verticais, horizontais e momentos decorrentes da ação do vento. O subsolo da obra pode ser visto na figura 3a.

Para o projeto de fundações da obra, inicialmente foi estudada uma solução em fundação superficial com melhoramento do terreno, com colunas de compactação em torno da cota -4,50. Porém, devido às características da estrutura (subsolo, cargas, dimensão e altura das sapatas, poços de levador, etc), praticamente todo melhoramento seria desprezado. Além disto, o porte da estrutura resultaria em sapatas de grandes dimensões (alto volume de concreto), bem como a necessidade de um rebaixamento geral do nível d'água para a execução das sapatas, face à cota de implantação do subsolo e dos poços dos elevadores. E a presença da camada de argila mole entre as cotas -7,00 e -9,00 ocasionaria grandes recalques nos pilares da torre e da periferia. Também foi sugerida uma solução em estacas tipo Franki com compactação profunda, no entanto, por estar localizada em um bairro residencial, as vibrações provocadas pela execução deste tipo de estaca, fez com que esta solução fosse descartada.

As fundações do prédio foram projetadas em estacas metálicas com perfis soldados Usiminas, com 24 m de comprimento, a partir da cota de implantação do edifício -0,50. Os tipos e cargas utilizadas nas estacas, estão descritos na Tabela 1. Para a cravação das estacas, foram utilizados dois bate-estacas de queda livre com pilão de 26 kN de peso. Para o acompanhamento da fundação, foram feitos os controles através do diagrama de cravação, e medição da nega e repique elástico ao final da cravação.

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



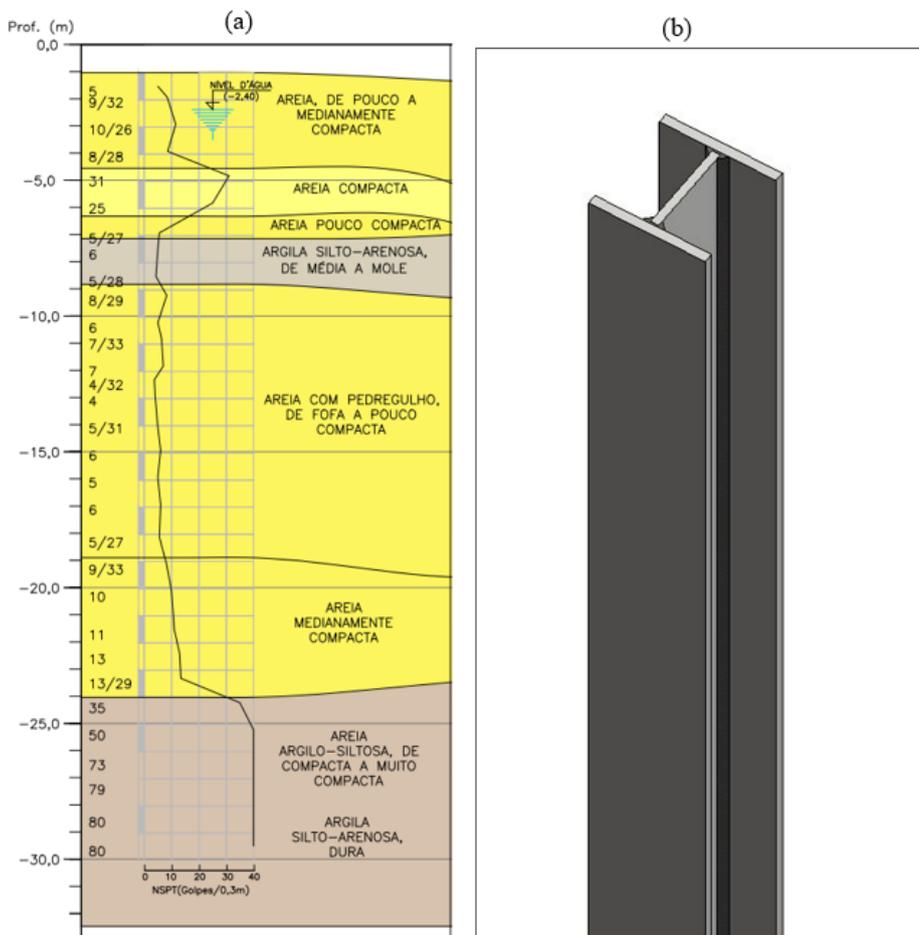


Figura 3. (a) Perfil simplificado. (b) 3D do perfil soldado (sem escala).

Tabela 1. Seções e quantitativos das estacs.

| Seção da estaca | Carga de tabralho (kN) | Quantidade de estacs | Comprimento total (m) |
|-----------------|------------------------|----------------------|-----------------------|
| CS-400x185 | 3250 | 24 | 576,00 |
| CS-400x165 | 2795 | 10 | 240,00 |
| CS-400x155 | 2600 | 576 | 276,00 |
| CS-350x119 | 1950 | 192 | 192,00 |

4.3 Obra C – Estacas metálicas com perfis laminados com seção variável com a profundidade (Ano: 2005)

O empreendimento é formado por dois prédios iguais com 42 lajes de concreto armado, lâmina de 500 m² e altura de 127 m. A carga vertical total permanente de cada prédio é de igual a 240.000 kN e a carga horizontal em alguns pilares com 900 kN. A estratigrafia do terreno, pode ser vista na figura 4(a).

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



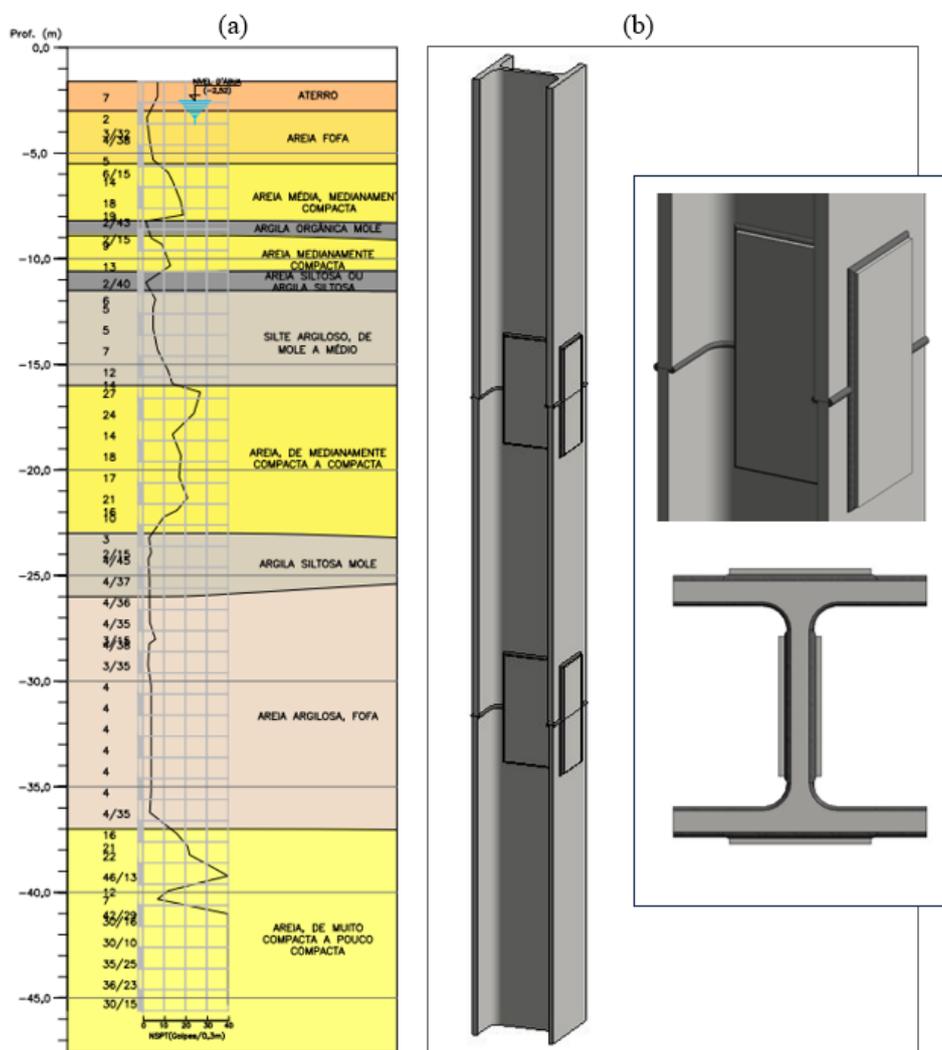


Figura 4. (a) Perfil simplificado. (b) Seção transversal, vista 3D e detalhe das emendas das metálicas compostas por perfis laminados (sem escala).

A avaliação da capacidade de carga das estacas foi feita através dos métodos propostos por Aoki e Velloso (1975) e Décourt e Quaresma (1978). O projeto inicial previa apenas estacas formadas por perfis HP-310x125, com ponta a 40 metros de profundidade, a partir da cota 0,00, com carga de projeto igual a 2.250 kN (máxima como elemento estrutural). O peso de aço previsto era de 685.000 kg por prédio.

Um segundo projeto foi desenvolvido considerando perfis mais leves (HP-310x110 e HP-310x93), que reduziria o peso de aço para 615.980 kg. Também foi proposto um terceiro projeto, com um conceito até então inédito em Recife: o uso de perfis com seção variável com a profundidade. Quando uma estaca é submetida a uma carga axial de compressão, a resistência solo-estaca é mobilizada através da ponta da estaca e da sua área lateral. Para o caso geral de

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





uma estaca com resistência lateral diferente de zero, o esforço normal atuante na estaca diminui com a profundidade. Com isso, a seção transversal da estaca pode também ser reduzida ao longo do seu comprimento, no entanto, para ser possível realizar as emendas das estacas, é necessário que sejam utilizados perfis da mesma série (GUSMÃO et al. 2006).

Para a comprovação da capacidade de carga das estacas, foram executadas a priori algumas estacas piloto para a realização de ensaios de carregamento dinâmico, com resultados satisfatórios. O projeto da fundação com estacas de seção variável foi, então, aprovado e a execução liberada. Posteriormente, foram realizadas duas provas de carga (lenta seguida de outra rápida) em uma das estacas que já havia sido submetida a ensaios de carregamento dinâmico.

As provas de carga atingiram valores próximos de 5.000 kN e os resultados foram bastante satisfatórios. O recalque elástico medido foi da mesma ordem de grandeza do estimado admitindo-se a distribuição de resistência lateral obtida pelo método de Aoki e Velloso (1975).

Ao final do terceiro projeto, teve-se um consumo de aço de 533.898 kg, ou seja, uma redução de 22% em relação ao primeiro projeto. Esta redução significou uma economia aproximada de R\$ 723.000,00.

4.4 Obra D – Estacas mistas: pré-moldadas de concreto com ponta metálica (Ano: 2008)

Trata-se de um conjunto residencial com 5 torres, com 33 lajes cada, vizinho ao Shopping Center Recife, no bairro de Boa Viagem. As cargas verticais permanentes variam de 3.590 a 14.830 kN, além dos esforços horizontais decorrentes da ação do vento. A cota de implantação do empreendimento é +0,50. O terreno das fundações encontra-se representado na figura 5a.

O projeto de fundações para as 5 torres teve como solução estacas pré-moldadas de concreto, com comprimentos variando de 30 a 44 m e seções EC-500 e EC-600. A avaliação da capacidade de carga dessas estacas foi feita através do Aoki e Velloso (1975) e Décourt e Quaresma (1978). Para obter a carga máxima estrutural das estacas, era necessário que as estacas ultrapassassem tanto a camada de areia medianamente compacta, encontrada entre as cotas -21,00 e -24,00 quanto a camada seguinte de argila orgânica, com espessura variável, sendo esta, mais espessa na região mais próxima do mangue.

Durante a cravação das estacas da primeira torre, com seção EC-500, houve quebras em torno da cota -22,00, e algumas estacas que não ultrapassaram esta camada. Para os pilares que tiveram estacas quebradas, foi necessário calcular reforços. Para estes, foram utilizadas estacas EC-400/8, por haver menor diâmetro, estas estacas conseguiriam ultrapassar a camada resistente como menos dificuldade. Este cenário se repetiu para as 3 primeiras torres executadas. Desta maneira, o projeto da quarta torre foi alterado para estacas de 400 mm de diâmetro, que apesar de se ter uma quantidade maior de estacas, esta seção garantiria menos intercorrências executivas.

Já para quinta e última torre foi estudada uma otimização para solução: em estacas mistas estacas pré-moldadas (EC-500) com ponta metálica (HP-310x79); a ponta metálica serviria como pré-furo, diminuindo a quebra das estacas. A execução consistiu em cravar o primeiro elemento metálico com 12m, em seguida, realizar uma emenda especial (como mostrada na figura 5b) como elemento de transição entre os dois tipos de estaca, e depois eram continuaria colocando os elementos pré-moldados até se atingir o comprimento de projeto desta torre. Para

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





o confeccionar a emenda das seções das estacas pré-moldadas com estacas metálicas, foi necessário escolher uma estaca metálica com diâmetro igual ou inferior ao da estaca pré-moldada, ou seja, a estaca metálica HP-310x79 possui um diâmetro de 438 mm, que é um pouco inferior a estaca de 500 mm, tornando possível realizar o encaixe entre elas.

Para validar a solução, foram realizados ensaios de carregamento dinâmico nas estacas. Esta obra, além de ter sido a primeira obra com estacas mistas, foi a primeira obra em que foi utilizado martelo hidráulico para cravação de estacas em Recife.

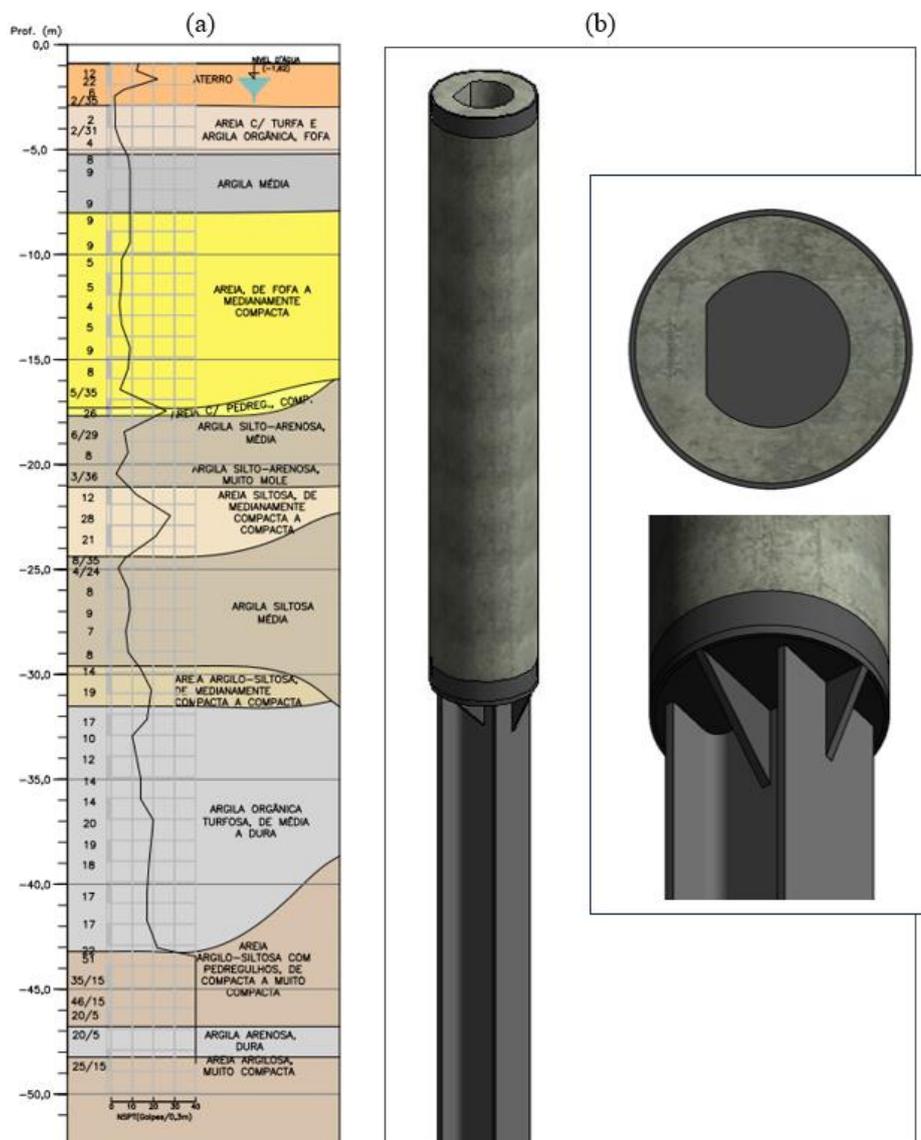


Figura 5. (a) Perfil simplificado. (b) Seção transversal, vista 3D e detalhe da emenda da metálicas com a estaca pré-moldada (sem escala).

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



5. Conclusões

Uma solução de fundação com estacas metálicas é sempre um desafio para o engenheiro projetista, em função dos custos envolvidos. Os quatro casos de obra apresentados mostraram que o subsolo da cidade (comprimentos médios de 40m), juntamente com o porte das edificações e esforços de vento, indica que soluções com este tipo de estaca são necessárias, pois esta solução se mostra muitas vezes como a única disponível. É possível evoluir em projetos de fundações com estacas metálicas devido às novas tecnologias e estudos realizados, assim como à versatilidade, diversidade e alto limite de escoamento que o aço possui.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Gusmão Engenheiros Associados por ceder os dados dos projetos para elaboração desta pesquisa. E agradecem também as figuras confeccionadas pelos engenheiros e amigos Laís Moura e Victor Rufino.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acervo técnico da Gusmão Engenheiros Associados LTDA, 2000.
- Alonso, U. R. *Estacas Pré-Moldadas. Fundação: Teoria e Prática*, Ed. Pini, São Paulo, 1998.
- Grigoletti, G. C. *Projeto de Estruturas de Aço*. Notas de aula. ULBRA, Porto Alegre, 2014.
- Gusmão Filho, J. A. *Fundações do conhecimento geológico à prática de engenharia*. Ed. Universitária, da UFPE, Recife, 1998.
- Gusmão, A. G. (1994) *Tipos de Fundações*. Apostila. Universidade de Pernambuco. 1994.
- Gusmão A. D.; Gusmão Filho, J. A.; Maia, G. B.; Aleixo, L. *Otimização de fundações com estacas de perfis laminados*. In: COBRAMSEG 2006, Curitiba. Anais... Curitiba. 2006. v.2., p. 1161-1165.
- Rocha, F.M.A. *Compressibilidade de uma Argila Orgânica Mole do Bairro de Chão de Estrelas em Recife-PE*. 2016, Dissertação (mestrado) – UNICAP, Recife, 2016.

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

