

Ensaio de placa horizontal para a definição do valor do coeficiente de reação horizontal

João Paulo Santos Silva

Engenheiro Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, jpaulossilva93@gmail.com

Prof. Dr. Vítor Pereira Faro

Engenheiro Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, vitorpereirafaro@gmail.com

RESUMO: É muito mais comum do que se imagina encontrarmos casos na engenharia onde as fundações em estacas estão sujeitas à esforços horizontais. Para a realização do projeto dessas estacas, deve-se atentar para três aspectos principais: capacidade resistente do solo para que não haja ruptura do mesmo; deslocamento máximo da estaca para que este não prejudique a estrutura; e capacidade resistente da estaca para que ela não se rompa. Um dos parâmetros do solo que influenciam no dimensionamento dessas estacas é o coeficiente de reação horizontal do solo. Para a determinação desse coeficiente, é possível encontrar diversos métodos na literatura onde os resultados divergem entre si. Este trabalho propõe-se a apresentar um desses métodos para determinação que consiste na realização de ensaios de placa horizontais.

PALAVRAS-CHAVE: Coeficiente de Reação Horizontal do Solo, Ensaio de Placa Horizontal, Estacas Solicitadas Lateralmente.

ABSTRACT: Find cases on engineering that piles foundations are subject to horizontal efforts is much more common than we may think. In order to carry out the design of these piles, three main aspects must be considered: the strength of the soil to prevent the soil failure; maximum displacement of the pile to prevent it to damage the structure; and resistant capacity of the pile guarantee it won't break. One of the parameters of the soil that influences in the design of these piles is the coefficient of horizontal subgrade reaction. For the determination of this coefficient, it is possible to find several methods in the literature where the results diverge between them. This research proposes to present one of these methods to determinate this coefficient that consists on the execution of horizontal plate tests.

KEYWORDS: Coefficient of Horizontal Subgrade Reaction, Horizontal Plate Test, Lateral Loaded Piles.

1 Introdução

Para o dimensionamento de fundação em estaca solicitada horizontalmente, dois critérios devem ser considerados: um fator de segurança adequado contra seu rompimento e uma deformação aceitável para os carregamentos a que está sujeita. É usual analisar esses dois critérios separadamente, e dimensionar a estaca para que satisfaça ambos independentemente (POULOS E DAVIS, 1980).

Para isso, tem se generalizando cada vez mais a utilização de métodos de cálculo baseados em hipóteses simplificadoras, pelo fato de possuírem simples utilização, como é o caso dos métodos da teoria de reação horizontal do solo (CINTRA, 1981). Esta teoria tem como hipótese principal a ideia de que a reação do solo é proporcional ao deslocamento horizontal, semelhante à hipótese de Winkler para o problema da viga sobre apoio elástico (ARAÚJO, 2013).

Para a previsão desse deslocamento horizontal, existe o coeficiente de reação horizontal. Na literatura é possível encontrar diversos métodos para definir o coeficiente de reação horizontal do solo, sendo por meio de valores pré-definidos ou por meio de correlações. O presente trabalho tem por objetivo geral estudar a acurácia do método para determinação desse coeficiente através da análise do resultado de ensaios de placa

horizontais, além de apresentar um método para execução desses ensaios que não possuem nenhum tipo de normatização e não são comumente executados.

2 Revisão Bibliográfica

A reação produzida no solo é um dos aspectos fundamentais no estudo de estacas carregadas horizontalmente, sendo um problema complexo. Essa reação é dependente das propriedades do solo onde a estaca se encontra, do tipo de solicitação (estática, cíclica, etc.) e também das propriedades da estaca (dimensões e módulo de elasticidade). (VELLOSO E LOPES, 2002).

Com o aumento do esforço horizontal atuante na estaca, é gerado um conseqüente aumento também no deslocamento horizontal da estaca e na reação do solo até que se atinge a ruptura deste, considerando que a estaca tenha rigidez suficiente para resistir às solicitações fletoras. Com isso, decorre a primeira verificação a ser feita: a ruptura do solo. Para que a solicitação de trabalho tenha uma adequada segurança em relação à solicitação de ruptura, é necessário primeiramente determinar os deslocamentos horizontais e as solicitações fletoras na estaca. (VELLOSO E LOPES, 2002).

Para a determinação dos deslocamentos e reações, existem duas considerações do solo possíveis de serem feitas: ou como uma extensão da hipótese de Winkler, onde o solo é tratado como uma seqüência de molas horizontais independentes entre si; ou o solo tratado como um meio contínuo elástico, sendo caracterizado por um módulo de Young e um coeficiente de Poisson. Qualquer que seja a consideração adotada, deve ser verificada a possibilidade de a reação produzida ser maior do que a resistência do terreno, num processo à parte. Caso o solo seja tratado como uma seqüência de molas, porém com reação não-linear (curvas p-y), então o comportamento do solo é modelado até a ruptura (VELLOSO E LOPES, 2002).

2.1 Hipótese de Winkler

A hipótese de Winkler é relativamente simples, se caracterizando basicamente pela representação do solo em forma de molas. A partir dessa representação, é possível então configurar o solo em diversas maneiras diferentes, sendo assim altamente adaptável a maioria dos solos encontrados. Entre essas configurações possíveis, estão a não-linearidade e variações do coeficiente de reação horizontal do solo de acordo com a profundidade, representando assim um solo estratificado ou com alternadas características ao longo da sua profundidade. (FARO, 2014)

Segundo o modelo de Winkler, qualquer que seja a forma da seção transversal da estaca ou estrutura solicitada horizontalmente, o solo resiste ao deslocamento horizontal da estrutura por meio de tensões normais atuantes na face projetada da estrutura e também por tensões cisalhantes atuantes nas laterais dessa estrutura, a resistência na parte de trás pode ser desconsiderada. Na prática, assume-se que a resultante dessas reações atue na frente da estrutura, ou seja, em uma faixa de largura equivalente à largura da estrutura solicitada. Com isso, pode-se afirmar que a reação do solo consiste em uma suposta tensão normal atuante nessa área frontal da estrutura, perpendicularmente ao seu deslocamento. Representando a hipótese, temos a Equação 1:

$$p = k_h \cdot y \quad (1)$$

Onde p é a tensão normal resultante da reação do solo na parte frontal da estrutura; k_h é o coeficiente de reação horizontal do solo; e y é o deslocamento causado pela aplicação do esforço horizontal (VELLOSO E LOPES, 2002).

É importante ressaltar que esse coeficiente pode aparecer na literatura expresso em diversas maneiras. Além da forma descrita na Equação 1, há também o coeficiente (módulo de reação horizontal) expresso considerando a influência da dimensão transversal da estrutura D , onde $K_h = k_h \cdot D$ [F/L^2]; e também o coeficiente (constante de mola) correspondente a um segmento de solo representado por uma mola, onde $K = K_h \cdot d$ [FL], sendo d o comprimento de discretização do solo (VELLOSO E LOPES, 2002).

A partir destas denominações, é possível determinar as reações no solo tanto em termos de tensão (Figura 1.a) quanto em termos de carga por unidade de comprimento (Figura 1.b).

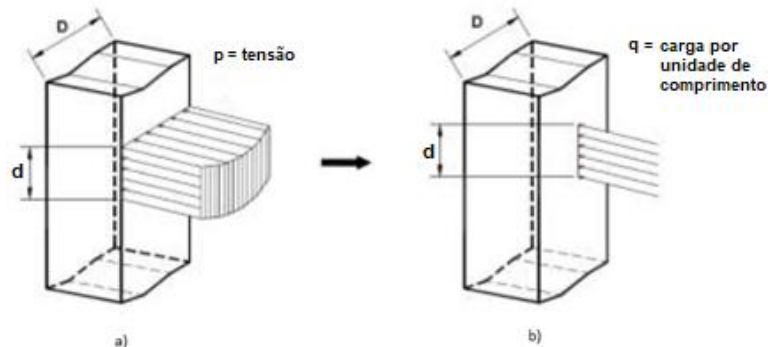


Figura 1. Conversão de tensão em carga por unidade de comprimento (ALONSO, 1986).

Os valores desse coeficiente podem ser obtidos tanto com base em dados de publicações consagradas ou por meio de derivações a partir do resultado de ensaios realizados em campo (TERZAGHI, 1955). O valor a ser considerado é de grande importância para o projeto devido a sua alta influência em diversos fatores envolvidos no dimensionamento da estrutura a ser projetada, desde o deslocamento causado no solo até os esforços (momento fletor e esforço cortante), dependendo do método de dimensionamento escolhido.

Essa hipótese é usualmente aplicada no meio da Engenharia Civil, porém ela tem como desvantagem o fato de ignorar a continuidade do solo e considerar que coeficiente de reação horizontal não é uma propriedade intrínseca. Ou seja, o coeficiente de reação do solo nesse caso depende do tipo de solo, das dimensões da estrutura solicitada e também do seu deslocamento (FARO, 2014).

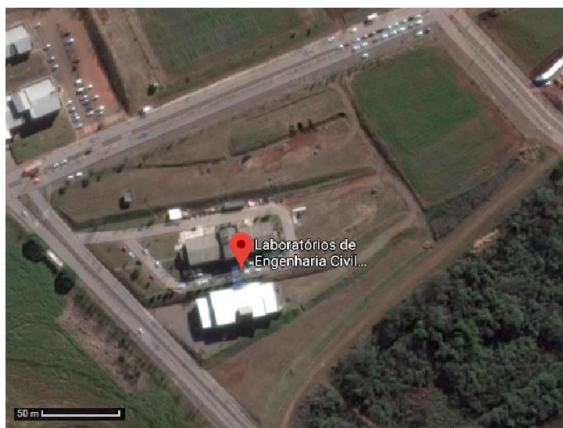
Para o caso de estacas, o problema é um pouco mais complexo quando comparado com o de vigas sobre apoio elástico, tendo em vista que em vigas é possível admitir que elas estejam apoiadas sobre um solo uniforme horizontalmente e para o caso das estacas isto não acontece, pois a estaca atravessa camadas de solo com naturezas diversas, sendo que em alguns solos as características elásticas variam sensivelmente com a profundidade (CINTRA, 2002).

3. Região de Estudo

Os ensaios para obtenção dos dados experimentais foram realizados no campo experimental do Centro Tecnológico da Universidade de Passo Fundo (CETEC-UPF), como pode ser observado na Figura 2.a. Este local (coordenadas 28°13'34,6"S 52°23'11,1"W) foi escolhido devido à diversidade de parâmetros geotécnicos obtidos em pesquisas anteriores, além da disponibilidade de utilização dos equipamentos do próprio CETEC e pela possibilidade de análise conjugada com outras pesquisas já realizadas no mesmo local.

Segundo Faro (2014), o solo característico do campo experimental onde foram realizados os ensaios é um solo residual, oriundo da composição de rochas basálticas (ígneas) e de arenitos (sedimentar). De acordo com Consoli *et al.* (1998), o solo residual decorrente de basalto é um tipo de solo muito comum na região sul do Brasil. Solos residuais são resultado do intemperismo, o que geralmente diminui a densidade e aumenta a

porosidade, e suas propriedades sofrem uma certa influência do histórico de tensões a que este solo já foi submetido devido à criação de uma ligação entre partículas decorrente tanto da cristalização associada com a formação de minerais, quanto da precipitação de células minerais. A formação de uma estrutura cimentada e porosa leva os solos residuais a apresentarem comportamentos geotécnicos diferentes dos solos sedimentares, mesmo possuindo densidade e granulometria similares. Interpretações geralmente realizadas para solos coesivos em condições não drenadas podem não ser válidas quando aplicadas a solos residuais cimentados. (CONSOLI *et al.*, 1998).



(a)

Nº de golpes		(golpes p/ 30 cm)				Classificação do Material
1º	2º	1º	2º	3º		
10	20	10	20	30		
05	05					Argila de coloração marrom-avermelhada de consistência média.
05	06					
04	05					3,5 m
09	11					Argila de coloração marrom-avermelhada de consistência rija.
09	10					
16	18					5,5 m
10	12					6,5 m
13	15					Argila arenosa de coloração vermelha com pigmentos de coloração cinza de consistência rija
13	14					
						9,5 m
07	08					Argila arenosa de coloração vermelha com cinza de consistência rija.
14	14					
14	16					
08	09					
12	13					
11	13					
10	12					16,0 m
						Limite executado.

(b)

Figura 2. Campo Experimental do CETEC-UPF: (a) Localização (GOOGLE MAPS, 2018); (b) Resultados de ensaio SPT realizado com circulação de água (LOPES JR E THOMÉ, 2005).

Lopes Jr. e Thomé (2005) executaram sondagens SPT no campo experimental em questão, sendo um desses resultados apresentados pela, onde a Figura 2.b representa um ensaio realizado com circulação de água. Através destes resultados, é possível observar que o solo em questão apresenta um perfil homogêneo até uma profundidade de 15 m. Além disso, é possível observar também que não foi encontrado nível d'água nos ensaios.

3.1 Ensaio de Carregamento Lateral em Estacas

Faro (2014) executou ensaios de carregamento lateral em estacas moldadas no campo experimental. Para isso, adotou um sistema de ação e reação entre duas estacas idênticas, onde uma era reagida na outra conforme representado na Figura 3. Foram ensaiadas 6 estacas (3 pares de estacas) em solo natural, onde um par se tratava de estacas rígidas com 0,6 m de diâmetro e 3 m de profundidade, e os outros dois pares tratavam de estacas flexíveis sendo um par com 0,3 m de diâmetro e 6 m de profundidade e outro com 0,4 m de diâmetro e 8 m de profundidade. As estacas foram executadas com concreto de 15 MPa de resistência à compressão, onde no centro dessas estacas havia um tubo metálico com 101,4 mm de diâmetro e 4,5 mm de espessura para posterior posicionamento de um tubo de inclinômetro.



Figura 3. Sistema de carregamento lateral das estacas nos ensaios. (FARO, 2014)

Além das estacas de concreto, também foram ensaiadas estacas metálicas que consistem em um tubo oco (mesmo tubo utilizado para realizar as leituras de inclinômetro nas estacas de concreto) com 101,4 cm de diâmetro, 4,5 mm de espessura e 5 m de profundidade. Os deslocamentos ao longo da profundidade, encontrados com a aplicação de uma carga de 12 kN a uma altura de 0,5 m com relação à superfície do terreno, são apresentados na Figura 8.a.

4. Materiais e Métodos

A parte experimental, caracterizada pela realização dos ensaios de placa horizontal, tem por objetivo determinar a tensão e deformação horizontal dada pela aplicação de uma carga por meio de um macaco hidráulico.

O coeficiente de reação horizontal k_h do solo é obtido experimentalmente de forma simples, seguindo a Equação 2:

$$k_h = p/y \quad (2)$$

Onde p é a tensão normal resultante da reação do solo na placa de aço, tensão essa obtida pela relação F/A ; y é o deslocamento causado pela aplicação do esforço horizontal; F a força aplicada pelo macaco hidráulico; e A a área da placa.

A partir dessa hipótese, o ensaio consiste basicamente na aplicação de uma força horizontal conhecida no solo para posterior medição do seu deslocamento. Esta força é aplicada através de um macaco hidráulico e reagida em duas faces de uma viga, como esquematizado na Figura 4.a. Esta reação é dada em placas de área conhecida, sendo variadas suas dimensões. As placas de reação são quadradas, como apresentado na Figura 4.b, e suas dimensões D são estipuladas em 10, 20 e 30 centímetros. Cada placa é ensaiada então às profundidades de 50, 100, 150 e 200 cm.

O macaco hidráulico é posicionado na altura projetada através de um sistema de suspensão, onde ele fica suspenso a uma viga metálica. Essa viga metálica é então biapoiada de forma que as tensões provenientes dos apoios não interfiram nos resultados dos ensaios.

A transmissão de esforços do macaco hidráulico para a placa é dada através de um tubo mecânico que pressionará as placas no solo. Para o início dos ensaios, o solo foi escarificado de modo que as placas estivessem em sua maior parte em contato com o solo, como apresentado na Figura 4.b.

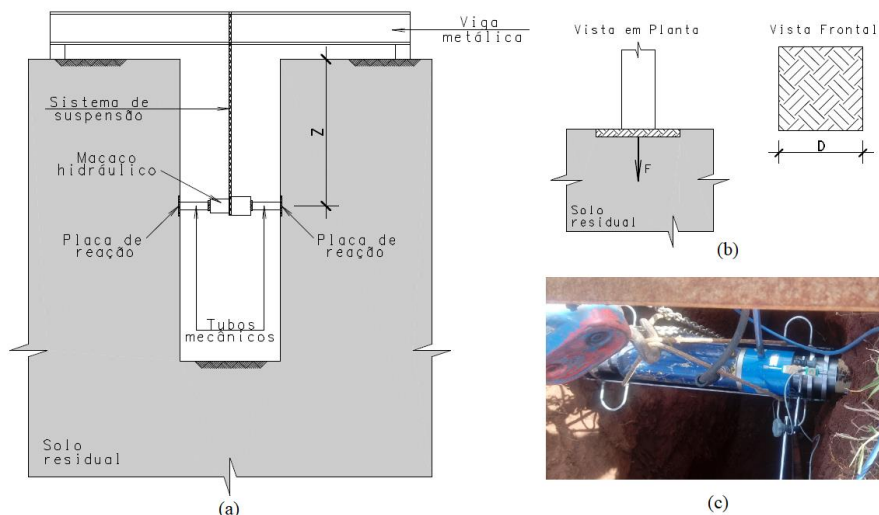


Figura 4. Ensaio de placa horizontal: (a) Esquema de montagem do ensaio; (b) Detalhe da placa de reação; (c) Sistema montado e preparado para o ensaio.

A vala de ensaio foi escavada com retroescavadeira com dimensões de 0,60 m de largura, 2,30 m de profundidade e 10 m de comprimento, permitindo assim que os ensaios fossem realizados com devido espaçamento afim de evitar que o bulbo de tensões de um ensaio interfira no outro. Além disso, foi também realizada uma análise de estabilidade da vala escavada para garantir a segurança na execução dos ensaios.

Para a aquisição de dados, foi elaborado um sistema para automatização das leituras. A célula de carga utilizada era da marca Alfa Instrumentos, modelo C-100t com capacidade de 100 toneladas, 112 mm de diâmetro externo e 143 mm de altura, e era posicionada entre o macaco hidráulico e o tubo mecânico. O transdutor de deslocamento utilizado era da marca Gefran, código PY2, com curso máximo de 50 mm, e era posicionado apoiado perpendicularmente à placa de reação e sustentado por um sistema externo através de uma garra magnética. Tanto a célula de carga quanto o transdutor de deslocamento foram conectados a um *datalogger*, onde as leituras eram realizadas e armazenadas a cada 1 segundo. Além disso, os mesmos equipamentos eram conectados a um computador onde, através de um *software*, era possível acompanhar os resultados do ensaio em tempo real por uma curva carga x descarga. Esse acompanhamento foi fundamental para que fosse identificado algum eventual problema, tanto na aquisição de dados, quanto no procedimento do ensaio. A Figura 4.c apresenta o sistema montado e preparado para a realização do ensaio.

Os ensaios foram realizados com carregamento controlado, ou seja, era pré-estabelecido um incremento de carga e aguardado a estabilização do sistema depois de cada incremento. O incremento escolhido foi variável de acordo com as dimensões das placas, sendo de 50 kgf para as placas de 10 cm x 10 cm, de 200 kgf para as placas de 20 cm x 20 cm, e de 450 kgf para as placas de 30 cm x 30 cm. Este acréscimo de carga foi realizado de maneira cadenciada a fim de evitar que os resultados sofressem influência da velocidade do ensaio. Quando atingido o incremento desejado, era então aguardada a estabilização do solo. Esta estabilização era garantida através do acompanhamento dos deslocamentos em 1, 2, 4, 8 e 15 minutos. Para apresentação dos resultados, foram considerados os resultados obtidos até um deslocamento equivalente a 5% da dimensão da largura D da placa.

5. Resultados

Os resultados do ensaio podem ser analisados tanto em termo de força como de pressão. A seguir são apresentados os gráficos encontrados para esses dois tipos de análise, sendo que, para a apresentação em

termos de força, foram separados os ensaios de acordo com suas dimensões de placa e, para a apresentação em termos de pressão, foram separados de acordo com sua profundidade.

Nas figuras a seguir, é possível observar os resultados separados em diversas formas, onde a legenda tem nomenclatura definida pelo tamanho da placa seguido da sua profundidade. Ou seja, por exemplo, o resultado com legenda “Placa10_50” é o resultado obtido com a placa de dimensões 10 cm x 10 cm a uma profundidade de 50 cm.

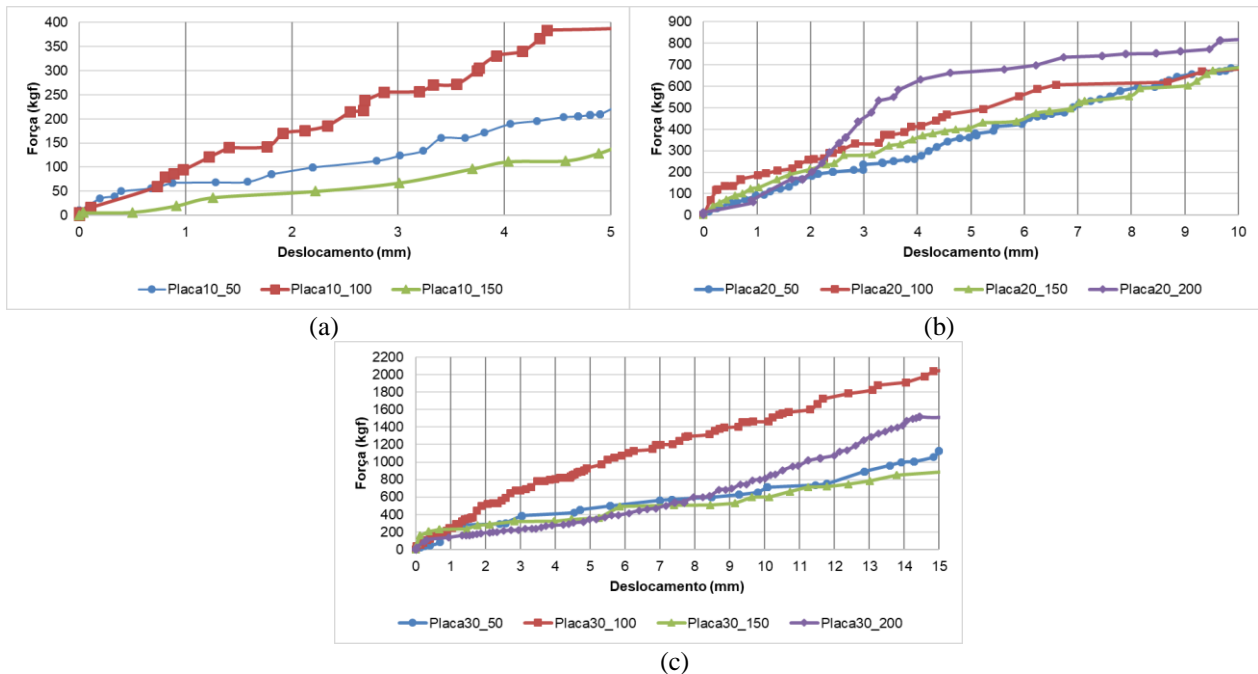


Figura 5. Resultados encontrados nos ensaios de placa de: (a) 10 cm de largura; (b) 20 cm de largura; (c) 30 cm de largura.

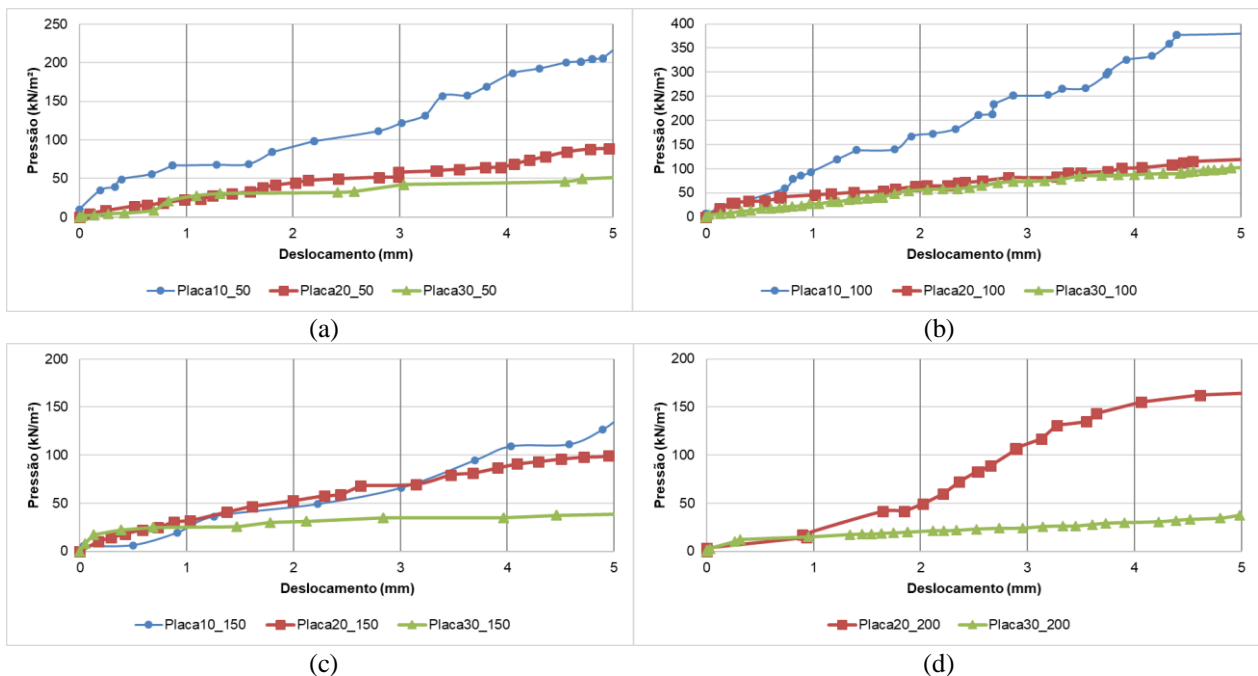


Figura 6. Resultados encontrados nos ensaios de placa para: (a) 50 cm de profundidade; (b) 100 cm de profundidade; (c) 150 cm de profundidade; (d) 200 cm de profundidade.

6. Modelagem dos Resultados

O modelo escolhido para a análise em questão consiste na representação do tubo metálico ensaiado por Faro (2014) através do *software* Ftool. Sendo assim, nos modelos foram aplicados os valores dos coeficientes em um tubo de 101,4 mm de diâmetro externo, 4,5 mm de espessura e 200 GPa de módulo de elasticidade. A representação do solo foi dada por uma mola a cada 20 centímetros de profundidade, sendo a primeira mola locada a uma profundidade de 10 cm. Portanto, a área representativa de solo para cada mola é de 10,14 cm (referente à largura do tubo) x 20 cm (referente à distância entre cada mola).

6.1 Retroanálise do Tubo Ensaiado

O primeiro passo para possibilitar uma posterior comparação entre os resultados foi a realização de uma retroanálise do tubo ensaiado por Faro (2014) para determinação do coeficiente de reação necessário para atingir os mesmos deslocamentos encontrados experimentalmente, apresentados na Figura 8.a.

A partir das propriedades do tubo e visando sempre a simplificação de aplicação, a retroanálise foi realizada por tentativa e erro até que se encontrasse uma curva de deslocamentos equivalente à encontrada em campo. Por se tratar de um solo coesivo friccional - solo residual cimentado, assim como descrito por Consoli *et al.* (1998) - relativamente homogêneo, foi tomada como válida a teoria de que a distribuição desse coeficiente seria constante ao longo da profundidade.

O resultado das deformações encontradas pelo modelo pode ser visualizado na Figura 8.a, onde é possível observar a semelhança entre as curvas quando comparado aos deslocamentos reais encontrados por Faro (2014). A partir dessa comparação, ficou estipulado que o valor de coeficiente k_h equivalente a 7001 kN/m³ representa algo muito próximo do valor real do solo em questão.

6.2 Modelagem dos Resultados por Ensaio de Placa Horizontal

Para a determinação do coeficiente k_h a partir dos resultados obtidos através dos ensaios de placa horizontais, é necessário a realização de uma análise crítica para definir quais resultados serão usados na modelagem. Para isso, foram observados os resultados obtidos pelos gráficos pressão x deslocamento apresentado na Figura 6 e verificada a possibilidade de utilização de uma média dos valores. Levando em consideração que os resultados de pressão x deslocamento apresentados são basicamente curvas *p-y* encontradas experimentalmente, foi decidido adotar o valor de k_h a partir de um módulo secante a um deslocamento de 10 mm, visando assim uma melhor representação da estaca metálica ensaiada por Faro (2014), onde o deslocamento médio encontrado ao longo da profundidade foi de 9,52 mm. Como os ensaios realizados com as placas 10 cm x 10 cm foram considerados apenas até um deslocamento de 5 mm, optou-se por não utilizar os mesmos para a obtenção da média a ser utilizada.

A Figura 7 apresenta em maior detalhe os resultados das placas de 20 cm x 20 cm e 30 cm x 30 cm utilizados para a determinação de um valor médio. Com isso, foi encontrado um coeficiente k_h médio de 13673 kN/m³.

Visando a simplificação de aplicação no modelo, foi considerado o coeficiente médio para todas as profundidades. A comparação dos deslocamentos encontrados no modelo com os deslocamentos encontrados no ensaio de Faro (2014) é apresentada na Figura 8.a, e dos momentos fletores encontrados no modelo da

retroanálise e do ensaio de placa é apresentada na Figura 8.b. Em ambos os casos, os resultados encontrados na modelagem descreveram com certa proximidade o comportamento real da estaca ensaiada.

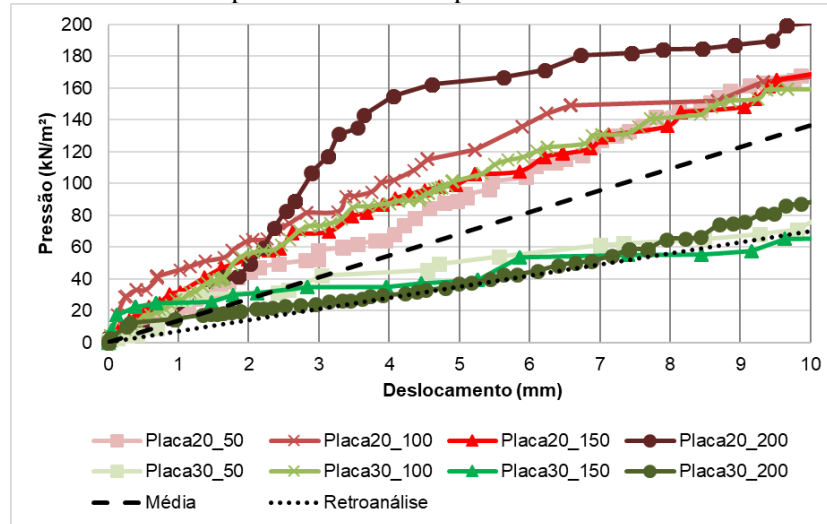


Figura 7. Resultados utilizados para estimativa de k_h

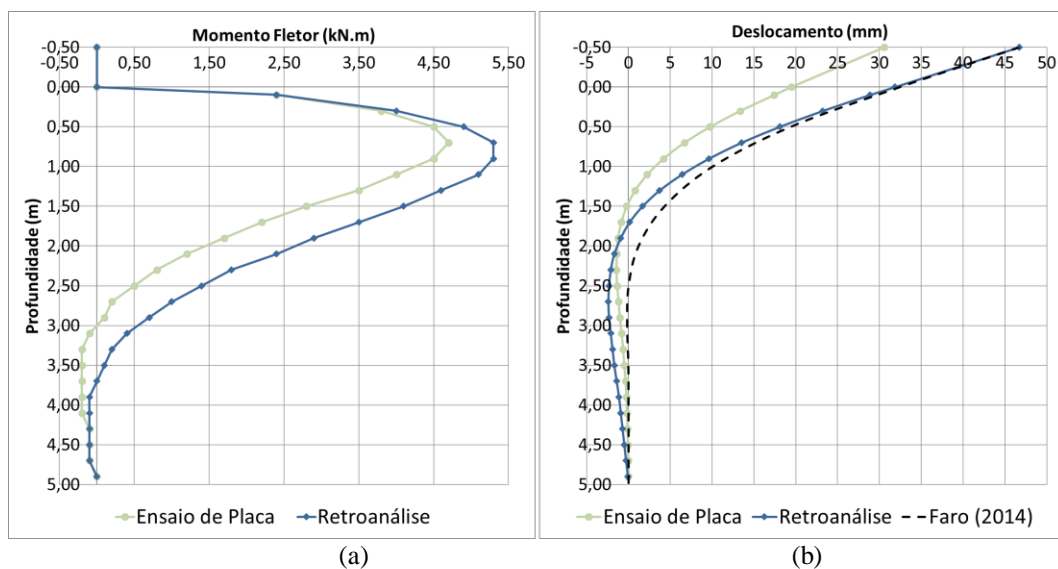


Figura 8. Comparativo dos resultados: (a) Deslocamentos encontrados nas modelagens e ensaios; (b) Momentos fletores encontrados nas modelagens.

7 CONCLUSÕES

Para o caso em questão, foram constatadas algumas dificuldades que podem ter interferido nos resultados, como a idealização de sistema que transmitisse todo o esforço do macaco para o solo se mantendo o tempo todo em suspensão, e também dificuldades para execução do ensaio em si. Essas dificuldades podem levar a erros de execução que podem interferir nos resultados dos ensaios.

Quando comparados os resultados, é possível observar que o deslocamento no topo da estaca ensaiada por Faro (2014) foi de 32,42 mm, enquanto o modelo idealizado a partir dos ensaios de placa horizontais resultou em um deslocamento de 19,46 mm neste mesmo local. Já para os momentos fletores, o maior momento encontrado no modelo de retroanálise da estaca ensaiada foi de 5,30 kN.m, enquanto o maior momento encontrado no modelo com resultados dos ensaios de placa horizontais foi de 4,70 kN.m.

Mesmo com todas dificuldades, os resultados previstos pela modelagem foram relativamente próximos aos resultados reais da estaca ensaiada, permitindo concluir que, com o aprimoramento da técnica e equipamentos, é possível se utilizar resultados obtidos a partir de ensaios de placa horizontais na previsão de deslocamentos e momentos fletores atuantes em estacas solicitadas lateralmente. Além disso, é possível entender sobre a importância de se considerar um valor para k_h que condiga o máximo possível com a realidade, pois a consideração desse valor interfere significativamente tanto na previsão dos deslocamentos da estaca quanto no dimensionamento estrutural da mesma.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil da UFPR (PPGECC-UFPR) e à Universidade Federal do Paraná pelo apoio à pesquisa, à Chamada Pública 09/2016-FA da Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná (FA) por permitir a aquisição de materiais e serviços necessários, e à Fasttel Engenharia LTDA pelo incentivo para publicação do artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, U. R. *Recomendação para realização de provas de carga horizontal em estacas de concreto armado*, CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, Porto Alegre. Anais. Porto Alegre: ABMS. 1986.
- Araújo, A.G.D. *Provas de carga estática com carregamento lateral em estacas escavadas hélice contínua e cravadas metálicas em areia*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Natal, 2013.
- Cintra, J.C.A. *Uma Análise de Provas de Carga Lateral em Estacas e Comparação com os Métodos da Teoria de Reação Horizontal do Solo*. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 150p. 1981.
- Cintra, J. C. A. *Carregamento Lateral em Estacas*. Oficina de Textos. Departamento de Geotecnia, São Carlos, 2002.
- Consoli, N. C.; Schnaid, F.; Milititsky, J. *Interpretation of Plate Load Tests on Residual Soil Site*. JOURNAL OF GEOTECHNICAL AND GEOENVIRONMENTAL ENGINEERING, ASCE, 124(9), p. 857-867. 1998.
- Faro, V. P. *Carregamento lateral em fundações profundas associadas a solos tratados: concepção, provas de carga e diretrizes de projeto*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2014.
- Google Maps. *Centro Tecnológico - CETEC/UPF*. Em: <<https://www.google.com.br/maps/place/Centro+Tecnol%C3%B3gico+-+CETEC%2FUPF/@-28.2269611,-52.3869707,285m/data=!3m1!1e3!4m12!1m6!3m5!1s0x94e2c03f83f94db5:0xdf6e084fda3029c!2sUniversidade+de+Passo+Fundo!8m2!3d-28.2344934!4d-52.3804396!3m4!1s0x0:0xcee10ecea9dbc443!8m2!3d-28.227022!4d-52.3869485>>. Acesso: 11 abr. 2017.
- Lopes JR., L. S.; Thomé, A. *Provas de Carga Estática em Estacas Escavadas de Pequeno Diâmetro, Executadas na Região de Passo Fundo, Rio Grande do Sul. Seminário de Engenharia Geotécnica do Rio Grande do Sul (GEORS)*. Passo Fundo, 2007.
- Poulos, H.G.; Davis, E.H. *Pile Foundation Analysis and Design*. Nova York: John Wiley & Sons, 1980.
- Terzaghi, K. *Evaluation of coefficient of subgrade reaction*. GEOTECHNIQUE vol.5., n.4,1955

9º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia
3ª Feira da Indústria de Fundações e Geotecnia
SEFE 9 – 4 a 6 de junho de 2019, São Paulo, Brasil
ABEF



Velloso, D.A.; Lopes, F. R. *Fundações Profundas*. COPPE – UFRJ, 2002