

Analysis of the Tschebotarioff Effect in Precast Piles Driven in Soft Soils in Florianópolis

Análise do Efeito Tschebotarioff em Estacas Pré-Moldadas Cravadas em Solos Moles de Florianópolis

Article Info:

Article history: Received 2022-09-01 / Accepted 2022-10-20 / Available online 2022-11-03

doi: 10.18540/jcecv18iss8pp14826-01e

Gustavo de Souza da Rosa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2609-3351>

Instituto Federal de Santa Catarina, Brasil

E-mail: eng.gustavosrosa@gmail.com

Julia Rosa Schlemper

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2814-3703>

Instituto Federal de Santa Catarina, Brasil

E-mail: eng.julia@modernizeconstrutora.com.br

Fábio Krueger da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4388-2491>

Instituto Federal de Santa Catarina, Brasil

E-mail: fabio.krueger@ifsc.edu.br

Fernanda Simoni Schuch

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5776-7091>

Instituto Federal de Santa Catarina, Brasil

E-mail: fernandass@ifsc.edu.br

Resumo

O Efeito Tschebotarioff em estacas pré-moldadas cravadas em solo mole é responsável por causar deformações e deslocamentos nestas. Desta forma, buscando analisar o comportamento das estacas pré-moldadas, foi elaborado um dimensionamento teórico deste efeito, a partir do método de Tschebotarioff, aplicado às estacas pré-moldadas de diferentes seções: 18x18cm, 23x23cm e 30x30cm, com cargas verticais de: 300kN, 500kN e 900kN respectivamente, supondo a cravação destas em um perfil de solo real, da região de Florianópolis/SC. A seguir, comparou-se o comportamento entre as três estacas e verificando as consequências que o efeito pode causar na estrutura de fundação, como o deslocamento horizontal (medido a partir da ferramenta Ftool), ou as consequências na superestrutura, sustentada pela fundação, podendo levar ao colapso da edificação. Como resultado, observou-se que estacas de seções maiores sofrem menos deformação pelo Efeito Tschebotarioff do que estacas de menores seções.

Palavras-chave: Tschebotarioff. Estaca pré-moldada. Solo Mole.

Abstract

The Tschebotarioff Effect in precast piles driven into soft soil is responsible for causing deformations and displacements in these. In this way, seeking to analyze the behavior of precast piles, a theoretical dimensioning of this effect was elaborated, from the Tschebotarioff method, applied to precast piles of different sections: 18x18cm, 23x23cm and 30x30cm, with vertical loads of: 300kN, 500kN and 900kN respectively, assuming their driving in a real soil profile, in the region of Florianópolis/SC. Then, the behavior between the three piles was compared and the consequences that the effect can have on the foundation structure were compared, such as the horizontal displacement (measured using the Ftool tool), or the consequences on the superstructure, supported by the foundation, which may lead to the collapse of the building. As a result, it was observed that

piles with larger sections suffer less deformation by the Tschebotarioff Effect than piles with smaller sections.

Keywords: Tschebotarioff. Precast stake. Soft soil.

1. Introdução

A realização de estruturas de fundações de obras em solos moles é desafiadora. Em decorrência das propriedades geotécnicas deste tipo de solo, os elementos de fundação devem ser capazes de superar inúmeras dificuldades. Muitas vezes, ações particulares como atrito negativo, efeito Set-up, falsa nega não são consideradas pelos projetistas. Assim, este trabalho procura mostrar a importância da consideração dessas sobrecargas no projeto geotécnico de fundações. Um tipo de carregamento adicional que pode ocorrer em fundações profundas em argilas moles é chamado Efeito Tschebotarioff.

O Efeito Tschebotarioff, estudado pelo engenheiro russo de mesmo nome, é responsável por um carregamento lateral adicional nos elementos de fundação e desta forma, provocando uma sobrecarga estrutural. Conhecidamente, a cidade de Florianópolis apresenta boa porção de sua estrutura geológica formada por solos classificados como moles. Estes solos normalmente consistem em argilas e siltes, sendo assim, esta região torna-se interessante para um estudo hipotético sobre os efeitos dos solos moles sob as estruturas de fundações profundas. Maiores detalhes desta pesquisa podem ser consultados no trabalho de Rosa e Schlemper (2021).

Embasando o estudo, foram encontrados registros históricos de obras executadas na cidade de Florianópolis onde, por negligência ou desconhecimento da interação solo-estrutura estes esforços não foram previstos em projeto e, ocasionaram patologias estruturais. Sendo assim, ao ignorar a existência de efeitos oriundos dos solos moles, incluindo o Efeito Tschebotarioff, estas obras apresentaram patologias advindas destes efeitos.

Para conseguir estimar o impacto deste efeito sobre as estruturas de fundação, foi utilizado neste estudo, um método de cálculo que relaciona o coeficiente de empuxo do solo com a espessura desta camada de solo. Após a aplicação deste método, encontrou-se o carregamento horizontal provocado pelo solo sob os elementos de fundação e foi possível analisar suas consequências.

Desta forma, através de extensa revisão de literatura, foi possível utilizar equações matemáticas, onde se pôde analisar a influência do Efeito Tschebotarioff sobre estacas pré-moldadas cravadas.

2. Materiais e Métodos

O Efeito Tschebotarioff ocorre em solos considerados moles e pode ser calculado através de equações matemáticas, determinando assim a influência deste efeito nas estruturas de fundação. O Efeito Tschebotarioff, estudado em 1962 pelo engenheiro de mesmo nome, consiste em explicar as ações horizontais do solo, atuantes nas estruturas de fundação, segundo Velloso e Lopes (2010). Em solos moles, compostos por porções principalmente de argilas orgânicas, a influência do adensamento é bastante relevante. Desta forma, com o passar do tempo e as sobrecargas de utilização, a porção de solo mole sob a edificação sofre adensamento. Através deste adensamento, esta porção de solo desloca-se horizontalmente em direção às estruturas de fundação, provocando carregamento horizontal sobre estas.

Para este estudo, os elementos estruturais de fundação escolhidos consistem em estacas pré-moldadas de concreto, executadas com processo de cravação, haja vista que revisitando a bibliografia, foram encontradas edificações cuja fundação fora executada com este tipo de elemento estrutural, portanto as estacas pré-moldadas de concreto apresentam-se bastante pertinentes ao estudo realizado. Conforme Figura 1, pode-se compreender o funcionamento do Efeito Tschebotarioff.

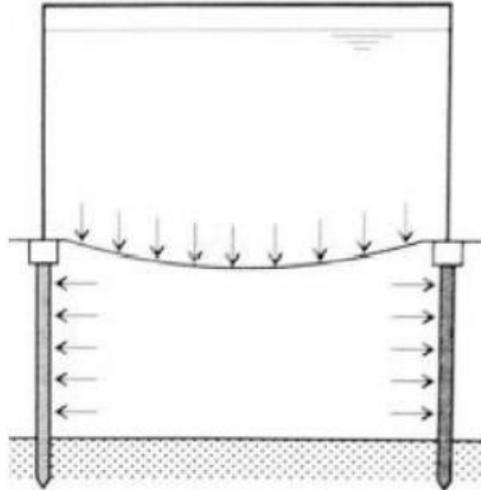


Figura 1 - Efeito Tschebotarioff. (Velloso e Lopes, 2010).

As consequências oriundas do Efeito Tschebotarioff podem ser verificadas tanto na execução quanto após a obra ter sido finalizada.

Ainda durante a cravação das estacas, caso o deslocamento horizontal da porção de solo mole seja significativo, pode ocorrer o desencaixe das emendas metálicas e consequentemente sua perda.

Caso os deslocamentos das estacas cravadas não sejam significativos durante a execução, podem surgir problemas após a obra ter sido concluída. Por exemplo, uma junção de combinação de esforços, por exemplo, com ação conjunta do atrito negativo em estacas. O atrito negativo é ocasionado por um esforço vertical decorrente do adensamento do solo circundante ao elemento estrutural. Desta forma, com o passar do tempo e o aumento das sobrecargas adicionais sobre as estacas é possível que o deslocamento horizontal e vertical do solo aumente e assim, surjam patologias como fissuras, trincas, ou ainda, o colapso da estrutura de fundação.

Para compreender o funcionamento do Efeito Tschebotarioff é importante entender as propriedades dos solos moles. Os solos moles tem sua composição normalmente formada por argilas compressíveis (Rabot et al., 2018, apud Tassinari, 2019) Isto é, argilas que tendem a sofrer grandes deformações conforme as tensões aplicadas sobre a mesma. Esta propriedade geotécnica também influencia o seu adensamento.

O adensamento do solo pode ser compreendido como a sua deformação através da expulsão da água contida em seus vazios. Esta expulsão ocorre quando uma carga é aplicada sobre o solo, segundo Marangon (2018). Desta forma, têm-se as duas principais propriedades dos solos moles responsáveis pela ocorrência do Efeito Tschebotarioff. O efeito está diretamente ligado ao deslocamento lateral da porção de solo mole. Esta porção de solo desloca-se horizontalmente devido ao fato do solo ser compressível e altamente adensável. Sendo assim, quando a carga é aplicada sobre o solo, este não sofre compressão, mas sim, desloca-se horizontalmente.

Buscando verificar o funcionamento do Efeito Tschebotarioff, foi adotado um modelo desenvolvido pelo próprio Tschebotarioff (1978). Neste modelo, Tschebotarioff define que a força exercida pelo solo sobre a estaca pode ser considerada como um carregamento triangularmente distribuído, aplicado no comprimento da estaca, conforme mostra a Figura 2.

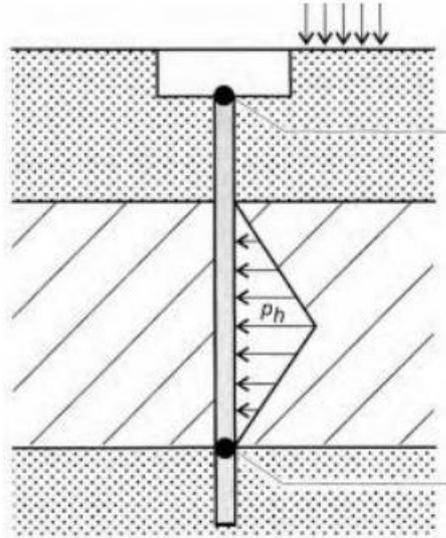


Figura 2 - Modelo de carregamento de Tschebotarioff. (Velloso e Lopes, 2010)

Desta forma, é possível encontrar o valor do carregamento aplicado pelo solo nas estacas. Para isto, utilizou-se da equação matemática (Equação 1) apresentada abaixo:

$$Ph = 2 \cdot B \cdot K \cdot \gamma \cdot H \quad (1)$$

Onde Ph é a pressão exercida pelo solo, B é a largura da estaca, K é o coeficiente de empuxo, H é a altura da camada de aterro, γ é peso específico do material de aterro.

Então, para verificar os deslocamentos sofridos pelas estacas em detrimento do carregamento horizontal provocado pelo Efeito Tschebotarioff, utilizou-se do software Ftool. Foi escolhido como base do estudo, o modelo estrutural de Velloso e Lopes (2010), conforme mostra a Figura 3.

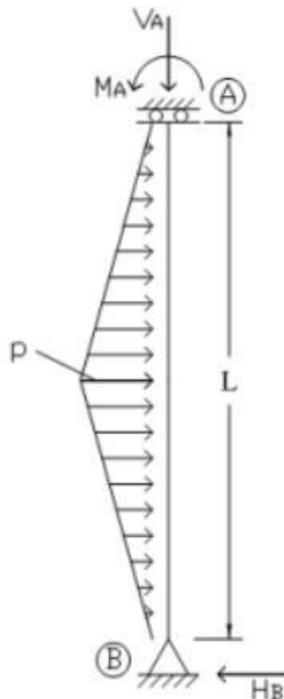


Figura 3 - Modelo de carregamento distribuído de Tschebotarioff. (Velloso e Lopes, 2010).

Para a realização do estudo foram determinados alguns parâmetros. O primeiro deles diz respeito ao tipo de elemento estrutural de fundação utilizado. Desta forma, foi utilizado como elemento de fundação as estacas pré-moldadas cravadas, devido ao fato de muitas obras na região de Florianópolis terem sido executadas com este tipo de elemento de fundação. Para a determinação do perfil de solo a ser trabalhado, obteve-se um perfil de solo real, originado de laudos de sondagem SPT que os autores tiveram acesso. Sendo assim, obteve-se o perfil de solo apresentado pela Figura 4.

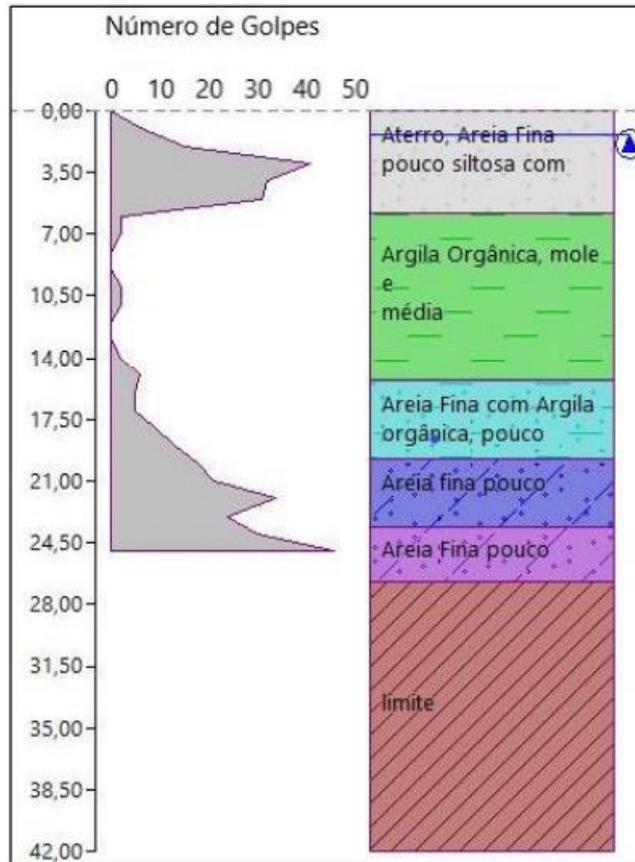


Figura 4 - Perfil Geotécnico de Solo adotado. (Rosa e Schlemper, 2021).

Para definição das cargas a serem aplicadas nas estacas desta pesquisa, buscando ampliar as considerações sobre os efeitos do sistema solo-estrutura, foram adotadas cargas verticais de níveis baixos, intermediários e altos. Para garantir que não acontecesse a ruptura física da estaca por aplicação de cargas superiores à sua capacidade de carga máxima foi adotado que estes níveis iriam ter uma redução de 100 kN em relação à carga de catálogo da estaca. Ou seja, foram adotadas as seguintes relações carga x dimensão da estaca: carga de 300 kN aplicada à estaca de 18x18 cm, 500 kN aplicada à estaca de 23x23 cm e 900 kN aplicada à estaca de 30x30cm, Rosa e Schlemper (2021).

3. Resultados e Discussão

Para o cálculo do Efeito Tschebotarioff e assim a obtenção dos resultados desejados, estabeleceu-se, segundo Rosa e Schlemper (2021), o valor de algumas variáveis.

Desta forma, sabe-se que o valor do coeficiente de empuxo K, de acordo com Velloso e Lopes (2010), pode ser adotado como 0,5. A altura da camada de aterro foi de 5,78 m. Como o aterro é formado por uma camada de areia fina, utilizou-se seu peso específico como sendo 17 kN/m³ (Joppert, 2007). Assim, para a situação 18x18 – 300 kN, tem-se que:

$$Ph = 2 \cdot B \cdot K \cdot \gamma \cdot H \quad (2)$$

$$Ph = 2 * 0,18 * 0,5 * 17,0 * 5,78$$

$$Ph = 17,69 \text{ kN/m}$$

Assim, utilizando-se esta carga e o modelo proposto por Velloso e Lopes (2010) para o cálculo do efeito Tschebotarioff, com o software Ftool, determinou-se o deslocamento ocorrido. As Figuras 5 e 6 mostram o esquema de forças e o diagrama de deslocamento, com um deslocamento máximo de 29 cm.

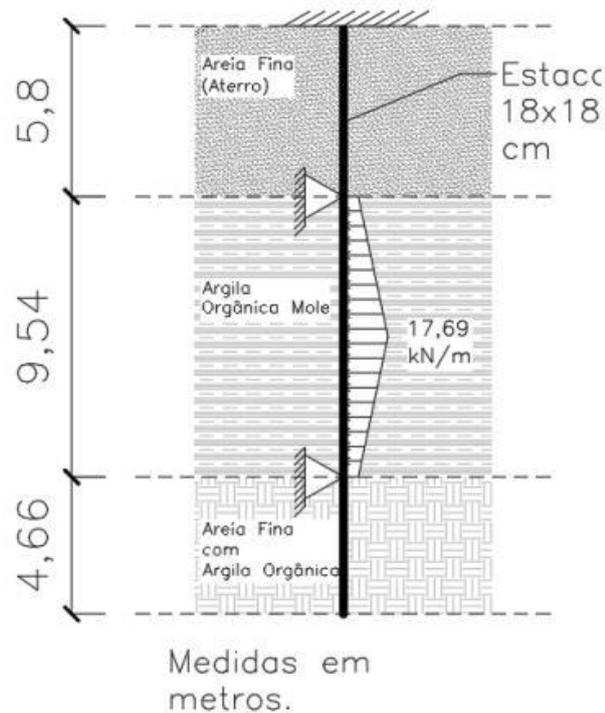


Figura 5 - Esquema de Carregamentos da Primeira Estaca. (Rosa e Schlemper, 2021).

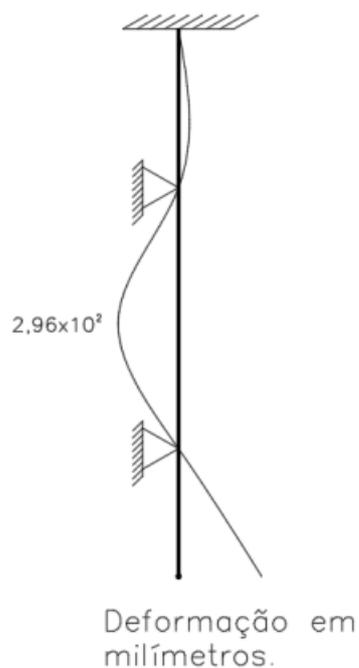


Figura 6 - Deformação Obtida para a primeira estaca. (Rosa e Schlemper, 2021).

Para a situação 23x23 – 500 kN, foi calculado o efeito Tschebotarioff da mesma forma. Sendo assim, obteve-se a carga aplicada a seguir:

$$Ph = 2 \cdot B \cdot K \cdot \gamma \cdot H \quad (3)$$

$$Ph = 2 * 0,23 * 0,5 * 17,0 * 5,78$$

$$Ph = 22,60 \text{ kN/m}$$

Dessa forma, com esta carga e o modelo proposto por Velloso e Lopes (2010), obteve-se o deslocamento de 14 cm, mostrado nas Figuras 7 e 8:

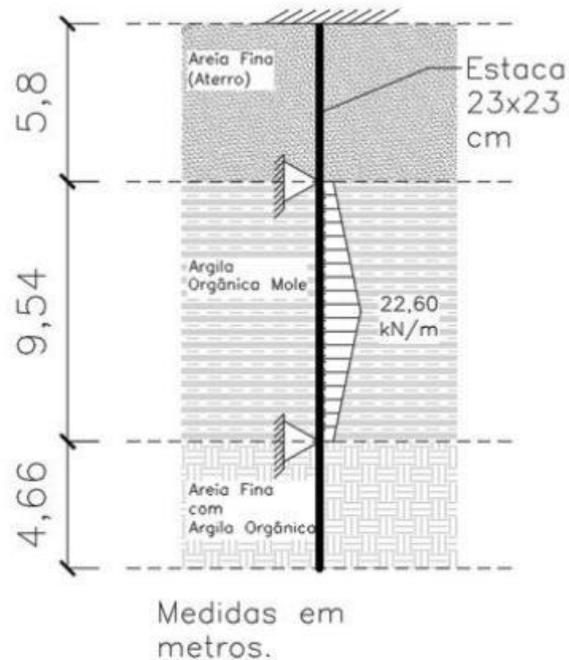


Figura 7 - Esquema de Carregamentos da Segunda Estaca. (Rosa e Schlemper, 2021).

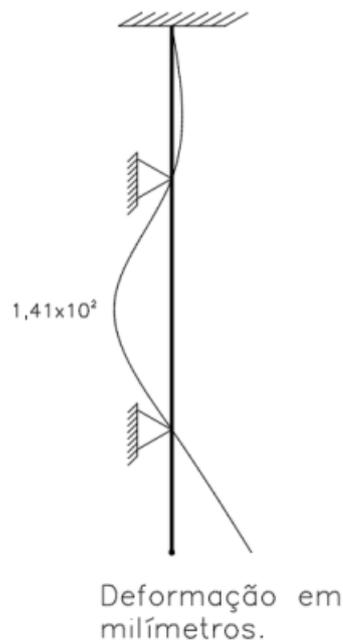


Figura 8 - Deformação Obtida. (Rosa e Schlemper, 2021).

Para a situação 30x30 – 900 kN, obteve-se a carga da mesma forma:

$$Ph = 2 \cdot B \cdot K \cdot \gamma \cdot H \quad (4)$$

$$Ph = 2 * 0,30 * 0,5 * 17,0 * 5,78$$

$$Ph = 29,48 \text{ kN/m}$$

Dessa forma, obteve-se o valor do deslocamento de 6,39 cm, mostrado nas Figuras 9 e 10:

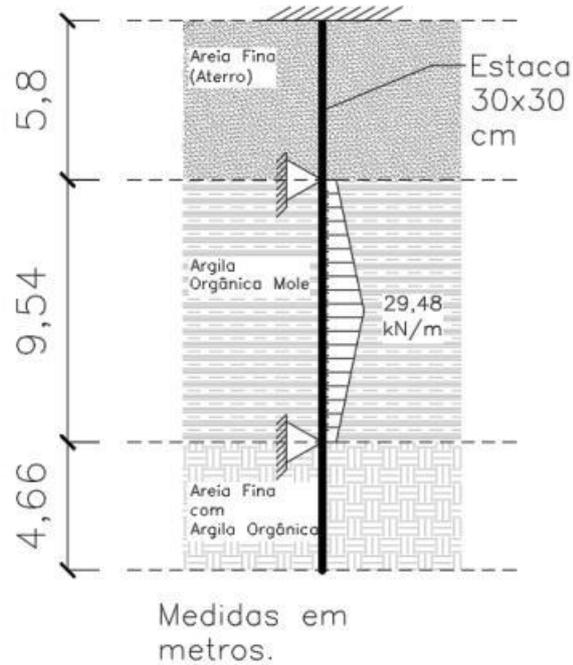


Figura 9 - Esquema de Carregamentos da Terceira Estaca. (Rosa e Schlemper, 2021).

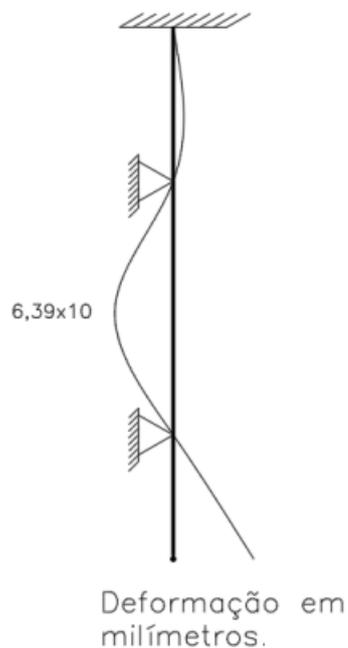


Figura 10 - Deformação Obtida. (Rosa e Schlemper, 2021).

Após o cálculo das deformações das estacas foi possível obter os resultados apresentados na tabela 1 a seguir:

Tabela 1 – Tabela resumo das deformações obtidas

Seção da Estaca (cm)	Carga Aplicada (kN)	Deformação (mm)
18x18	300	2,96x10 ²
23x23	500	1,41x10 ²
30x30	900	6,39x10

Dessa forma, observando os resultados agrupados na Tabela 1, é possível compreender que apesar de serem submetidas a carregamentos de maiores magnitudes, as estacas de maior seção sofrem menos deformação, isto ocorre em função de sua menor esbeltez. Assim, estacas com seções menores, quando submetidas ao Efeito Tschebotarioff, tendem a trazer mais problemas e patologias para as edificações.

4. Conclusão

Em relação ao estudo realizado do efeito Tschebotarioff, foi possível constatar através dos resultados obtidos, que neste efeito ocorre o oposto daquilo que acontece no efeito de recalque. Neste caso, ao aumentar a seção da estaca, aumentava-se também a carga horizontal proveniente do deslocamento da camada de argila. No entanto, apesar do aumento do carregamento de forma proporcional ao aumento da seção da estaca, o deslocamento ocorreu de forma inversamente proporcional. Ou seja, ao aumentar a seção da estaca, eleva-se o carregamento, porém, diminui-se o deslocamento horizontal. Com isto, estacas de seções menores, com menor rigidez estrutural, sofreram maiores deslocamentos horizontais e assim, estão mais vulneráveis à ocorrência de esforços horizontais adicionais. Se houver emendas metálicas de encaixe nas estacas, estas podem inclusive funcionar como uma rótula permitindo a movimento da estaca e até desencaixe nas suas emendas.

Estas sobrecargas estruturais quando não previstas em projeto podem provocar deslocamentos dos elementos estruturais e, conseqüentemente, patologias de fundações. Desta forma, foi possível concluir que é imprescindível a consideração destes esforços particulares nos projetos geotécnicos e que, neste caso, os elementos mais esbeltos, como é o caso das estacas de seção menor, apresentaram maior influência sob ação do Efeito Tschebotarioff.

Agradecimentos

Agradecemos ao Instituto Federal de Santa Catarina, principalmente ao curso de Engenharia Civil, por nos proporcionar os conhecimentos necessários para a elaboração deste trabalho.

Referências

- Carmo, F. M. S. (2003). Estudo de polimorfismo do gene candidato, o fator miogênico-5 (myf -5), em suínos. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.
- Joppert Jr, Ivan. (2007). *Fundações e Contensões de Edifícios*. Pini.
- Marangon, Márcio. (2018). Capacidade de Carga dos Solos. *Mecânica dos Solos II*. Ed. Juiz de Fora Rosa, Gustavo de Souza da; Schlemper, Julia Rosa. (2021). Estacas pré-moldadas em Solos Moles de Florianópolis: Interação Solo-Estrutura E Os Efeitos Sobre Seu Dimensionamento. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.
- Tassinari, Diego. (2019). Compressibilidade do Solo e Pressão de Préconsolidação: determinação, predição e interações. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil.

Tschebotarioff, Gregory P. (1978). *Fundações, Estruturas de Arrimo e Obras de Terra*. McGraw-Hill

Velloso, Dirceu de Alencar; Lopes, Francisco de Rezende. (2010). *Fundações*. Oficina de Textos.