

## ESTUDO DA MELHORIA DO ATRITO LATERAL EM ESTACAS MOLDADAS IN LOCO ATRAVÉS DA ADIÇÃO DE MATERIAIS EXPANSIVOS NA ARGAMASSA.

**Rafael Cristiano Piton**

Engenheiro Civil, Universidade Comunitária da Região de Chapecó.  
rafaelpiton@unochapeco.edu.br

**Marlusa Cristina Welter Schafer**

Acadêmica do curso de Engenharia Civil da Universidade Comunitária da Região de Chapecó.  
marlusacristina@unochapeco.edu.br

**Marieli Biondo Lopes**

Professora do curso de Engenharia Civil da Universidade Comunitária da Região de Chapecó.  
marybiondo@hotmail.com

**Estela Bortolanza Dalazen**

Engenheira Civil, Universidade Comunitária da Região de Chapecó.  
esteladalazen@unochapeco.edu.br

**Naiara Piaia**

Engenheira Civil, Universidade Comunitária da Região de Chapecó.  
naye\_piaia@unochapeco.edu.br

**Tiago Lorenzon**

Engenheiro Civil, Universidade Comunitária da Região de Chapecó.  
tiagolorenzon@unochapeco.edu.br

**Bárbara Karina Kronbauer**

Engenheira Civil, Universidade Comunitária da Região de Chapecó.  
barbara.kronbauer@unochapeco.edu.br

**Marylia Gabriella Baldissera**

Engenheira Civil, Universidade Comunitária da Região de Chapecó.  
mgb96@unochapeco.edu.br

**Resumo.** Com o intuito de se aprimorar técnicas e garantir obras com maior vida útil e qualidade, faz-se necessário a investigação de sistemas alternativos de projeto, concepção e execução de fundações, salientando a importância de uma análise de eficiência no sistema solo-fundação. Este trabalho apresenta uma análise comparativa do desempenho da resistência ao atrito lateral em protótipos de estacas moldadas “in loco”. Tais modelos de ensaio foram confeccionados com argamassa convencional, com argamassa aditivada com expansor e argamassa com

adição de bentonita. Em relação ao atrito lateral, esta pesquisa constatou que o aditivo expansor oferece aumento na rugosidade lateral de contato solo estaca. Assim, aumentando-se esta rugosidade de contato, conseqüentemente, há uma elevação nos índices de resistência ao atrito lateral.

**Palavras-chave:** Aditivo Expansor de Argamassa. Atrito Lateral. Estacas Moldadas.

## 1. INTRODUÇÃO

A estabilidade e prolongamento da vida útil de estruturas de pequeno e grande porte dão-se, inicialmente, por um projeto de fundação bem realizado. Para tanto, é necessário que se conheça, além das propriedades do perfil do maciço de solo a ser trabalhado, as técnicas e seus procedimentos fundamentais.

As estacas escavadas com trado helicoidal mecanizado, e, concretadas *in loco* são utilizadas em grande escala no município de Chapecó (SC) devido sua relação custo x benefício, e também pela qualidade do perfil geotécnico. A respeito das condições do subsolo, segundo Gonçalves e Lopes (2017), as camadas superficiais são compostas por argila avermelhada rija, com maciço presente em pequenas profundidades. Com isso, estacas escavadas tornam-se mais eficientes em relação ao custo e execução.

Estas estacas possuem capacidade de carga provenientes da resistência de ponta e atrito lateral, em que para Décourt (1998), a mobilização do atrito lateral é influenciada, principalmente, pelo comprimento e forma da estaca.

O atrito lateral unitário, a partir de uma profundidade (denominada de crítica), tende a estabilizar-se. Este caso é explicado por Vesic (1975 *apud* Decourt, 1998), o qual baseia seus estudos no arqueamento de solos arenosos, e atribui valores para a profundidade crítica de dez diâmetros para areias fofas e vinte diâmetros para areias compactas.

Kulhway (1986 *apud* Decourt, 1998) é mais generalista em relação à influência do comprimento da estaca na mobilização do atrito lateral. O autor explica tal fenômeno, pela parcela de atrito ser constante entre profundidades de 6 a 20 m, retornando a crescer posteriormente.

Por fim, o sistema solo-estaca torna-se mais eficiente quando, a capacidade de carga da fundação e a resistência do concreto são suficientes para suportar os esforços oriundos da estrutura.

Uma alternativa para melhoramento da parcela do atrito lateral das estacas concretadas *in loco* é adição de materiais expansivos na mistura, podendo ser aditivos industrializados ou naturais (como é o caso da bentonita). Os aditivos industriais comercializados são denominados de *expansores de argamassa*, e sobre suas vantagens, Basf (2018) cita: a redução da segregação das misturas, a expansão da mistura à base de cimento Portland, o qual se adapta as fronteiras e contornos, aumento da aderência da mistura nas paredes das estacas, produção de um efeito plastificante na mistura.

A bentonita, por sua vez, é uma argila plástica e coloidal, podendo ser sódica ou cálcica. Este material possui alta capacidade de inchamento quanto está em contato com a água, sendo maior para as sódicas do que as cálcicas (LUZ; OLIVEIRA, 2005).

Um estudo realizado no Campo Experimental do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília, idealizado por Carvalho *et al* (1998), procurou investigar a influência da técnica de execução na capacidade de carga de diversos tipos de estacas. Uma destas estacas ensaiadas foi concretada utilizando-se um aditivo expensor na proporção de 1% do peso de cimento, para verificar a possível variação nos resultados da capacidade de carga.

Comparou-se, então, o comportamento das estacas a partir de dois resultados: o primeiro baseado em provas de cargas do tipo lento e, o segundo baseado em métodos semi-empíricos, como Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma. Analisando-se os resultados, Carvalho *et al.* (1998) constataram que, o uso de expensor não promoveu melhoria da

capacidade de carga para o subsolo analisado (Argila silto-arenosa, Argila pedregulho-arenosa e Saprólito), havendo benefício somente em relação ao recalque da estaca.

Este estudo tem o objetivo de avaliar o aumento do atrito lateral em protótipos de estacas moldadas *in loco*, em diferentes misturas de solo e com adição de três aditivos expansores de argamassa, além da bentonita.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Amostras de Solo para Protótipos

As amostras de solo coletadas para os trabalhos de confecção dos protótipos foram coletados do *Campus* da Unochapecó, em Chapecó (SC). Para algumas amostras, adicionou-se areia para alterar a granulometria e avaliar o funcionamento do aditivo em diferentes tipos de solos, uma vez que o solo da região possui características constantes.

Estas amostras foram secadas ao ar e, após o tempo de secagem, foram destorroados e homogeneizados, seguindo os requisitos básicos da NBR 6457 (ABNT, 2016).

### 2.2 Ensaio de Caracterização

A etapa de ensaio para a caracterização do solo utilizado nos modelos de estacas iniciou-se pela análise granulométrica conjunta, seguindo para tanto, as prescrições da NBR 7181 (ABNT, 2017). Contudo, com a amostra de solo já caracterizada, estabeleceu-se a umidade ótima para a confecção dos modelos de estacas. Esta umidade foi estabelecida no ensaio de compactação para uma amostra representativa, atendendo os critérios normativos do DNIT 164 (2016).

### 2.3 Estabelecimento dos Traços de Argamassa

Para o estabelecimento das misturas de argamassa do protótipo e concreto das estacas, determinou-se o traço comumente utilizado nas construções civis. Os aditivos expansores foram adicionados nas misturas seguindo as orientações de cada fabricante.

#### 2.3.1 Confecção dos Protótipos de Estacas

Foram moldados dois modelos de estacas, sendo o primeiro com argamassa com aditivo expansor e bentonita, e o segundo confeccionado com argamassa não aditivada.

A confecção das amostras iniciou-se pela compactação do solo, no teor de umidade ótimo, nos cilindros utilizados para ensaio de índice de suporte Califórnia (ISC). Após a compactação do solo nos moldes, realizou-se uma perfuração, com auxílio de um trado tipo caneco com 5 cm de diâmetro, em todo o comprimento da amostra para que o modelo só apresentasse resistência por atrito lateral, conforme as figuras 1, 2 e 3.



Figura 1. Processo de perfuração dos modelos de ensaio (BIONDO, 2007).



Figura 2. Modelo de ensaio perfurado com trado (BIONDO, 2007).



Figura 3. Resultado final das perfurações preenchidas em camadas por argamassa (BIONDO, 2007).

Concluída a perfuração, preencheu-se o furo de um dos moldes com argamassa aditivada e outro com argamassa sem aditivo. Os corpos de prova foram deixados em cura durante 14 dias para, posteriormente, realizar o rompimento dos mesmos.

Utilizou-se para o rompimento, a prensa do ensaio de CBR, tomando-se o cuidado de deixar livre a ponta dos modelos para que não apresentassem resistência de ponta. Deste modo, o atrito unitário máximo foi determinado pela razão entre a carga de ruptura e a área da superfície lateral dos modelos de estaca.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Ensaios Laboratoriais do Solo

Foram tomados três tipos de solo para análise da funcionalidade do aditivo. O solo natural de Chapecó, classifica-se como Argila silto-arenosa (BIONDO, 2007) e, em alguns casos como Argila areno-siltosa (LORENZON, 2016), com a parcela de argila variando entre 50 e 70%. Nesta pesquisa, além destas duas classificações, propôs-se uma composição de Areia argilo-siltosa, através da adição de areia ao solo natural, coletado no *Campus* da Unochapecó. Os resultados da caracterização das três granulometrias estudadas estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Resultado de Caracterização do solo

| ENSAIOS           | SOLO 01                       | SOLO 02                       | SOLO 03                     |
|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Granulometria     | <i>Argila Silto - Arenosa</i> | <i>Argila Areno - Siltosa</i> | <i>Areia argilo-siltosa</i> |
| Umidade (%)       | 7,2                           | 17,4                          | 7,1                         |
| Umidade Ótima (%) | 37                            | 30,3                          | 14,6                        |

#### 3.2 Estabelecimentos dos Traços de Argamassas

Para a argamassa dos protótipos de estacas, utilizou-se traço de 1:2,5 e para o concreto das estacas 1:1,4:2,9:0,46. Todos os traços foram ensaiados em relação à sua resistência à compressão. Para isso, analisou-se as misturas com e sem aditivo.

Foram utilizados quatro aditivos expansores de argamassa industrializados e a bentonita, denominados de: Aditivo 1, Aditivo 2, Aditivo 3, Aditivo 4 e, Bentonita. Cada um foi adicionado nas misturas em quantidades

diferentes, baseadas nas recomendações do fabricante. Apenas o Aditivo 1 foi ensaiado com variação de adição, devido os pequenos resultados encontrados na quantidade estipulada pelo fabricante. A Tabela 2 apresenta os resultados de resistência à compressão para todas as dosagens realizadas.

Tabela 2. Resistência à compressão  
Argamassas

| ADITIVO   | ADIÇÃO (%) | RESIS. COM ADIÇÃO (MPa) | RESIS. SEM ADIÇÃO (MPa) |
|-----------|------------|-------------------------|-------------------------|
| Aditivo 1 | 1          | 12                      | 16                      |
| Aditivo 1 | 2          | 29                      | 21                      |
| Aditivo 1 | 2          | 31                      | 38                      |
| Aditivo 2 | 1          | 29                      | 18                      |
| Aditivo 3 | 2          | -                       | 15                      |
| Aditivo 4 | 2          | -                       | 15                      |
| Bentonita | 3          | 16,5                    | 15,9                    |

As adições com Aditivo 3 e 4 não foram ensaiadas em relação à resistência, por considerar-se que haveria aumento comparado à resistência das argamassas sem aditivo. Porém, ressalta-se que é necessário realizar a análise, pois para o Aditivo 1, em duas situações a resistência com a adição de expansor, reduziu em média, 40%. Para as demais composições, afirma-se que o aditivo expansor aumenta a resistência à compressão das misturas em até 61% (Aditivo 2).

### 3.2 Atrito Lateral nos Protótipos de Estacas

Após a ruptura dos protótipos na prensa de CBR, tomaram-se as leituras de deslocamento e carga, transformando as unidades em tensão. Como a base da estaca foi mantida livre durante a ruptura, toda a carga aplicada foi por atrito lateral. A Figura 6 apresenta um detalhe dos protótipos depois do deslocamento. A Tabela 3 apresenta os

resultados para cada amostra e aditivo ensaiado.



Figura 4. Detalhe da amostra após o rompimento da estaca (BIONDO, 2007).

Tabela 3. Resistencia por Atrito Lateral

|   | SOLO | ADITIVO | ATRITO LATERAL COM ADIÇÃO (MPa) | ATRITO LATERAL SEM ADIÇÃO (MPa) |
|---|------|---------|---------------------------------|---------------------------------|
| 1 | 2    | 1 (1%)  | 109,4                           | 102,3                           |
| 2 | 3    | 1 (1%)  | 68,5                            | 57,3                            |
| 3 | 2    | 2 (1%)  | 716,6                           | 493,1                           |
| 4 | 1    | 3 (2%)  | 684,5                           | 226,3                           |
| 5 | 1    | 4 (2%)  | 282,6                           | 266,3                           |
| 6 | 2    | 1 (2%)  | 115,5                           | 103,3                           |
| 7 | 1    | B (3%)  | 90,70                           | 137                             |

Analisando-se os resultados encontrados nos protótipos de estacas moldadas *in loco*, conclui-se que o aditivo industrial, em todas as análises, aumenta a resistência por atrito lateral. O Aditivo 1 e Aditivo 4 foram os que apresentaram menores resultados, elevando o atrito lateral em 6% em média. No caso da bentonita (Aditivo B), houve redução de 34%, não sendo eficaz para esta pesquisa.

### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos e apresentados na Tabela 3, conclui-se que a adição de aditivos expansores (industriais) é benéfica em relação ao aumento do atrito

lateral. A variação nas elevações do atrito depende da marca e fornecedor, porém todos são eficazes no que se comprometem sobre a expansão das misturas de cimento Portland. As diferentes amostras de solos não alteraram os resultados encontrados, reafirmando a eficiência das adições.

### ***Agradecimentos***

Agradecemos a Universidade Comunitária da Região de Chapecó e o Grupo de Estudos em Geotecnia – GREG pelo apoio e dedicação a esta pesquisa.

## **2. REFERÊNCIAS**

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017). NBR 7181, Análise granulométrica dos solos, Procedimento. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6547 - Preparação de amostras de solo para ensaio normal de compactação e caracterização, Procedimento. Rio de Janeiro.

Basf (2018). **Produtos**, Disponível em <<http://www.master-builders-solutions.basf.com.br>>, Acesso em 29 abril 2018.

BIONDO, M. (2007). **Verificação da otimização do sistema solo-estaca com o uso de concreto aditivado com expansor de argamassa**, Monografia, Chapecó SC, 120 p.

Carvalho, J.C. et al (1998). Avaliação da adaptabilidade de métodos de previsão de capacidade de carga a diferentes tipos de estacas. in **Anais de 1998**, XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica –COBRAMSEG, Brasília.

DALAZEN, E.B. (2017). **Estudo da capacidade de atrito lateral em estacas moldadas in loco com variação de misturas de solos e teores de umidade**. Monografia, Chapecó SC, 111 p.

DÉCOURT, L. (1998). **Análise e Execução de Estacas Profundas**. In W. HACHICH et al. (eds.), **Fundações: Teoria e Prática**, 2 ed., Editora Pini, São Paulo, 265-302 p.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2016). DNIT ME 164, Compactação de solos, **Métodos de ensaio**. Rio de Janeiro.

GONÇALVES, M. K., LOPES, M.B. (2017). **Perfil estratigráfico-geotécnico do município de Chapecó/SC.**, 7º Seminário Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão – Siepe, Chapecó SC.

LUZ, A.; Oliveira, C. H. (2005). **A bentonita**, Disponível em <<http://mineralis.cetem.gov.br>>. Acesso em 29 de abril 2018.

LORENZON, T. (2016). **Reanálise da interação solo-estaca moldada in loco com o uso de aditivo expansor de argamassa**, Monografia, Chapecó SC, 78 p.

PIAIA, N. (2017). **Análise da otimização do sistema solo- estaca com o uso de concreto aditivado com expansor de argamassa em diferentes solos**, Monografia, Chapecó SC, 121 p.

ZAGONEL, T. C. (2017). **Viabilidade da aplicação de aditivo expansor de argamassa para melhoramento da resistência à tração em estacas escavadas**, Monografia, Chapecó SC, 92 p.