

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica  
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas  
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens  
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens  
15 a 18 de Setembro de 2020 – Campinas - SP



## Análise de tração em estacas escavadas a seco com anéis por métodos de extrapolação da curva carga x deslocamento

Leonardo Barros Dantas Brandão

Mestrando, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, leodantasbrandao@gmail.com

Juliane Andréia Figueiredo Marques

Professora, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Brasil, julianemarques@hotmail.com

Armando Accioly Paiva

Engenheiro Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Brasil, armando\_accioly@hotmail.com

**RESUMO:** Estacas escavadas a seco com anéis foram desenvolvidas no intuito de aumentar a capacidade de carga de estacas escavadas tradicionais. Não existem métodos específicos para a previsão da carga de ruptura dessas estacas, por isso o trabalho objetiva analisar as divergências entre os valores de capacidade de carga à tração por alguns métodos de extrapolação da curva carga x deslocamento comumente utilizados na prática. As duas estacas analisadas tinham 10 m de comprimento, 400 mm de diâmetro e possuíam 6 anéis ao longo do fuste, e foram executadas em solo predominantemente argiloso, com nível de água superior a 30 m de profundidade. Para a análise, foram aplicados os métodos de Van Der Veen e Chin, resultando em valores médios de carga última de tração de 985 kN e 590 kN, respectivamente. O método de Chin se mostrou mais conservador, com valor médio de carga inferior à do método de Van der Veen e à carga máxima do ensaio, 600kN. A prática de fundações mostra que os anéis tendem a retardar a ruptura, hipótese que justificaria os baixos deslocamentos, frente à carga de 600 kN aplicada, observados após a execução dos ensaios de prova de carga nas estacas TR1 e TR2, 19 mm e 17 mm, respectivamente. Apesar de inicialmente promissores, os resultados precisam ser validados com a realização de novos ensaios de prova de carga à tração em estacas desse tipo, levadas à ruptura, o que não foi observado nas estacas ensaiadas pela limitação do sistema de reação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estacas escavadas com anéis, tração, capacidade de carga, extrapolação.

**ABSTRACT:** Dry bored piles with rings were developed to increase the capacity of traditional bored piles. There are no specific methods, which can predict the resistance of this type of foundation. That is why this paper analyzes the tensile capacity of dry bored piles with rings by different methods of extrapolation of the load-movement curve, obtained by load testing. The two piles analyzed were 10 meters long, they had 400 mm in diameter and were designed to have 6 rings along the shaft, and they were executed on clay soil, with a water level deeper than 30 m. For a comparative analysis, Van Der Veen and Chin methods were used, resulting in tensile load values of 985 kN and 590 kN, respectively. The Chin method is shown to be conservative, resulting in lower mean value than the other method, including the maximum load applied in the load testing, 600 kN. The practice of foundations shows that the rings tend to delay the rupture, a hypothesis that would justify the low values of displacements, given the load of 600 kN applied, observed after the execution of the load test tests on the TR1 and TR2 piles, 19 mm and 17 mm, respectively. Although initially promising, the results need to be validated with new tensile load testing on this type of piles, subjecting them to rupture, which was not observed in the piles tested due to the limitation of the reaction system.

**KEYWORDS:** Dry bored piles with rings, tensile, capacity, extrapolation.

### 1 Introdução

As estacas escavadas a seco são um tipo de fundação profunda que possuem, como características importantes, alta produtividade (mais de 100 m executáveis por dia), sem gerar vibrações elevadas. Porém, o uso dessas estacas está limitado ao nível de água. A grande desvantagem desse tipo de fundação é a baixa

capacidade de carga, devido ao seu processo executivo, em que pedaços de solo solto são depositados no fundo do furo da escavação. No intuito de aumentar resistência à compressão e à tração desse tipo de estaca, foi desenvolvida a técnica de se criar anéis no fuste da estaca, ao provocar a rotação de uma ponteira metálica acoplada ao trado mecanizado, a qual “corta” o solo em profundidades pré-determinadas, logo após a etapa de escavação, como mostrado na figura 1. A figura 2, por sua vez, mostra uma estaca escavada a seco com anéis extraída (MARQUES et. al, 2012).

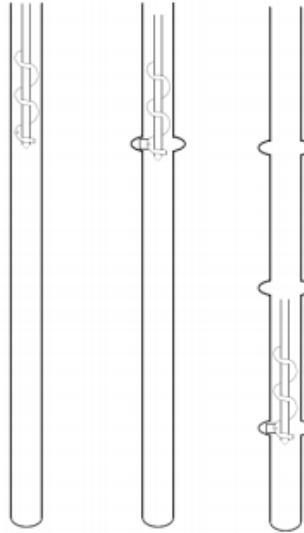


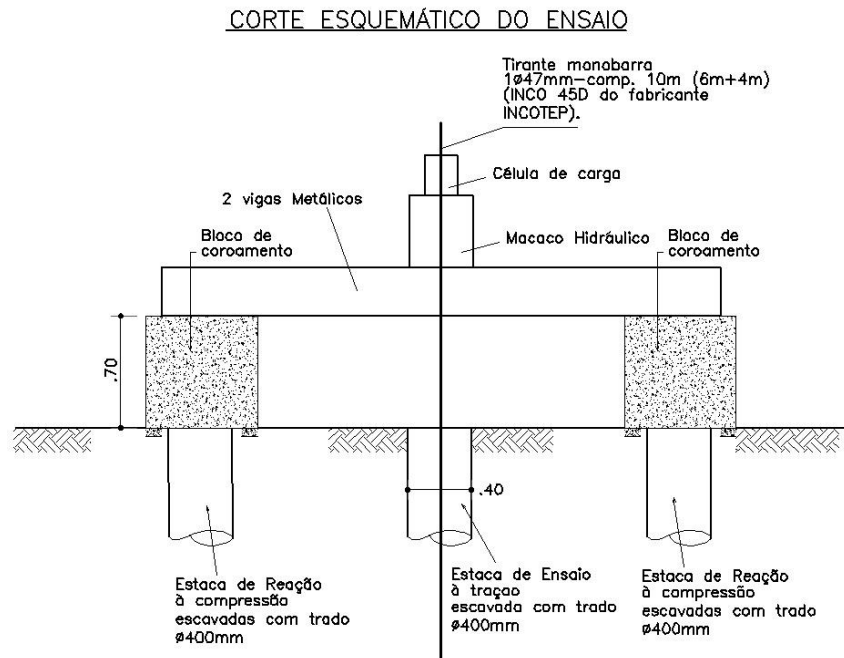
Figura 1. Execução da estaca escavada com anéis.



Figura 2. Estaca escavada a seco com anéis extraída.

A NBR 12131 (ABNT, 2006) preconiza que há a aplicação de esforços estáticos à estaca com observação dos recalques ocorridos no ensaio de prova de carga. Os macacos hidráulicos transmitem a carga à estaca. A prova de carga dispõe de valores das cargas aplicadas, os deslocamentos axiais ou transversais e os do topo da estaca e para o tempo de realização de cada carregamento. Antes de se iniciar o ensaio, que pode ser com carregamento lento, rápido, misto, ou cíclico, é necessário caracterizar o solo através, por exemplo, de sondagens de simples reconhecimento – SPT.

A figura 3 apresenta o esquema de montagem de uma prova de carga à tração. Observa-se no ensaio à tração, por exemplo, que não é necessário bloco de coroamento sobre a estaca ensaiada, presente no ensaio à compressão. O macaco hidráulico é vazado e situa-se juntamente com a célula de carga sobre os perfis metálicos, aplicando um esforço de arrancamento à estaca ensaiada.



Segundo Bessa et al. (2016), as provas de carga auxiliam na melhor compreensão do comportamento das estacas e do solo, em especial dos deslocamentos, quando a mesma é submetida a esforços de compressão ou de tração, possibilitando a previsão da carga que essas estacas podem suportar, ou seja, a capacidade de carga da estaca.

Dentre os métodos mais utilizados para a determinação da carga de ruptura de estacas, se destacam aqueles que trabalham com a extrapolação da curva carga x deslocamento, obtida pela execução de ensaios de prova de carga (CINTRA et al., 2013).

O presente trabalho analisa a carga de ruptura de duas estacas, TR1 e TR2, escavadas a seco com anéis, por dois métodos extrapolação de curvas carga x deslocamento: Van der Veen (1953) de Chin (1970). Devido à limitação do sistema de reação, não foi observada ruptura nítida em nenhum dos ensaios de prova de carga. Por esse motivo, o trabalho se prestou a analisar as divergências de valores de carga de ruptura encontrados ao se aplicar métodos distintos.

## 2 Metodologia

### 2.1 Dados das Estacas Estudadas

O local de execução das duas estacas analisadas possui subsolo típico da Formação Barreiras, com solo argilo arenoso ou argilo areno-siltoso e com o nível de água não observado nos primeiros 30 m de profundidade, por ensaios de sondagem simples, SPT. Ambas as estacas possuíam 400 mm de diâmetro e 10 m de comprimento e foram dimensionadas com 6 anéis espaçados em 1,5 m.

### 2.2 Métodos de Extrapolação da Curva Carga x Deslocamento

Para a análise da capacidade de carga à tração das duas estacas escavadas a seco, foram utilizados os métodos de extrapolação da curva carga x deslocamento de Van der Veen (1953) e de Chin (1970).

O método de Van der Veen (1953) realiza uma previsão do “mergulho” da curva, ou seja, a curva se torna assintótica. Com isso, obtém-se o valor da carga última, para o qual a ruptura geotécnica da estaca ocorre. Van der Veen (1953) considerou que a curva se assemelha a uma curva exponencial. Aoki (1976) ajustou a equação adicionando um parâmetro b, como mostra a equação 1 (BRANDÃO, 2016).

$$P = Q * (1 - e^{-(a*R+b)}) \quad (1)$$

Em que P representa a carga aplicada no topo da estaca (kN), Q é a carga de ruptura (kN), a é o coeficiente que define a forma da curva e R corresponde ao recalque ou deslocamento (mm).

Segundo França (2011), o método de Chin (1970) pode ser aplicado para resultados de prova de carga dos tipos lento e rápido. Para a plotagem do gráfico, é necessário, inicialmente, dividir cada valor de recalque (ou deslocamento) por seu correspondente valor de carga, esses valores representam os valores do eixo das ordenadas. O eixo das abcissas, por sua vez, é composto dos valores de recalque. A carga última é definida como sendo o inverso da inclinação da linha obtida pelos pontos do gráfico, de acordo com as equações 2 e 3.

$$Q_u = 1/C1 \quad (2)$$

$$Q = R/C1 + R + C2 \quad (3)$$

Sendo Q a carga aplicada, em kN;  $Q_u$  é a carga última, em kN; C1 é a inclinação da reta; C2, a intersecção com o eixo y; e R o recalque correspondente à carga, em mm.

### 3 Resultados e Discussões

Após a realização dos ensaios de prova de carga para as duas estacas, TR1 e TR2, os gráficos mostrados nas figuras 4 e 5 puderam ser plotados. A figura 4 mostra a curva carga x deslocamento da estaca TR1, que atingiu carga máxima de 600 kN e teve um deslocamento máximo de 19 mm. Já, na figura 5, é possível ver a curva para o ensaio de prova de carga da estaca TR2, com carga máxima atingida de 600 kN e deslocamento máximo de 17 mm. Os deslocamentos permanentes ficaram entre 9 e 10 mm em ambas as situações.

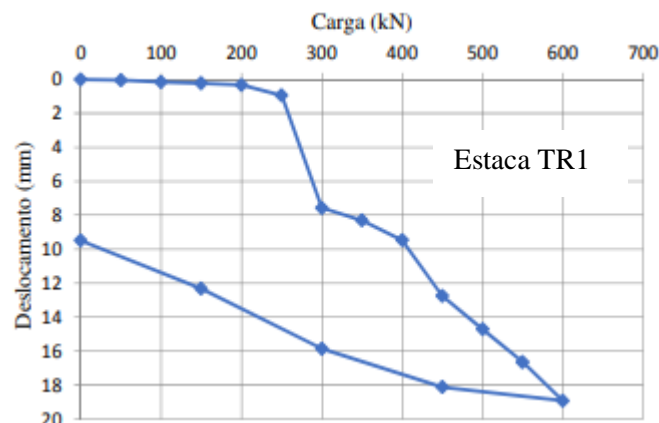


Figura 4. Curva carga x deslocamento da estaca TR1.

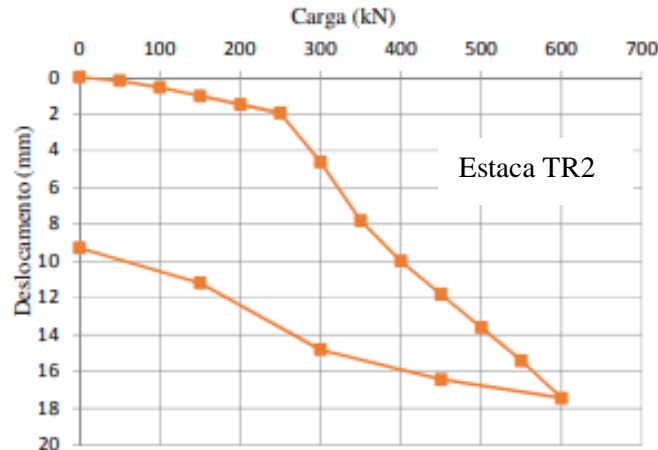


Figura 5. Curva carga x deslocamento da estaca TR2.

Os valores de carga de ruptura encontrados para as duas estacas analisadas pelos métodos de Chin e Van der Veen estão resumidos na tabela 1, bem como as médias para as cargas por método e as diferenças percentuais entre os valores obtidos para TR1 e TR2.

Tabela 1. Resumo dos resultados.

Método	TR1 (kN)	TR2 (kN)	Média (kN)	Diferença (%)
Chin	556,0	625,0	590,5	12,4
Van der Veen	970,0	1000,0	985,0	3,1

Ao analisar conjuntamente os resultados da tabela 1 com os gráficos das figuras 4 e 5, pode-se concluir que o método de Chin apresentou baixos valores de carga de ruptura, comparados aos valores de Van der Veen, sendo a carga da estaca TR1 inferior inclusive ao máximo de carga aplicada e, até esse ponto, não se observa ruptura do solo.

A tabela 2 explicita as relações percentuais entre os métodos de Van der Veen e de Chin, mostrando que a diferença média percentual é de aproximadamente 67%. Enquanto a tabela 3 mostra correlações percentuais entre as cargas de rupturas previstas pelos mesmos métodos e a carga máxima de ensaio (Max) de 600 kN.

Tabela 2. Relações percentuais entre os métodos de Van der Veen e Chin.

	Van der Veen/Chin
TR1	174%
TR2	160%
<b>Média</b>	<b>167%</b>

Tabela 3. Relações percentuais entre as cargas de ruptura e a carga máxima de ensaio (Max).

	Van der Veen/Max	Chin/Max
TR1	162%	93%
TR2	167%	104%
<b>Média</b>	<b>164%</b>	<b>98%</b>

Da tabela 3, observa-se que o método de Van der Veen forneceu valores de carga superiores à carga máxima aplicada no ensaio de prova de carga à tração para a carga última da estaca, o que era de se esperar, visto que a ruptura não foi observada durante a execução do ensaio.

É importante ressaltar que, como nenhuma das estacas foi ensaiada até a ruptura, seria imprudente selecionar algum dos métodos utilizados como ideal para a determinação da carga última. Os valores encontrados e demonstrados no trabalho funcionam como uma etapa inicial de análise e mostram as



disparidades encontradas ao utilizar diferentes metodologias de previsão de carga de ruptura, para as situações apresentadas.

Os trabalhos de Marques et al. (2012), Brandão (2016), Dias (2016) e Torres (2018) mostram que os anéis atuam aumentando a capacidade de carga à compressão de estacas escavadas a seco e retardam os deslocamentos frente às cargas aplicadas. Essa hipótese parece ser razoável também para as estacas submetidas à tração. As curvas das figuras 4 e 5 parecem mostrar que, após uma perda parcial inicial da resistência lateral, os anéis aparentemente retardaram o deslocamento da estaca, mudando a tendência, antes parabólica, para uma reta. Observa-se mudança no comportamento, ao analisar os gráficos, em torno de 250 kN de carga aplicada.

Para a validação dos métodos, e consequentemente das cargas de rupturas das estacas escavadas a seco com anéis, bem como verificar a tendência dos anéis de retardar os deslocamentos, é essencial que estacas desse tipo sejam submetidas à prova de carga à tração até a ruptura.

#### 4 Conclusão

Estacas escavadas a seco com anéis estão em constante processo de estudo, principalmente em relação à capacidade de carga, seja de compressão ou de tração. Por não existirem métodos específicos para a sua previsão, se faz necessária a análise comparativa por diversos métodos, por vezes, ajustando-os.

O trabalho aqui descrito analisou duas estacas, TR1 e TR2, que haviam sido submetidas a ensaio de prova de carga à tração do tipo lento, com carga máxima aplicada de 600 kN. O processo de ruptura geotécnica não foi observado durante a execução do ensaio. Ambas as estacas possuíam as mesmas características físicas, 10 m de comprimento e 400 mm de diâmetro, foram dimensionadas para possuírem 6 anéis, espaçados em 1,5 metros, e executadas espaçadas em cerca de 3 metros.

De posse das curvas de carga por deslocamento das estacas, pôde-se aplicar os métodos de Chin e Van der Veen para realizar estimativas de cargas últimas das estacas, ao extrapolar as curvas.

Observou-se que o método de Chin forneceu valores de carga muito baixos, quando comparados aos valores obtidos pelo método de Van der Veen, a média de valores foi inferior inclusive à carga máxima aplicada nos ensaios de prova de carga. As aplicações dos métodos de Van der Veen e Chin resultaram em valores 64% superior e 2% inferior, respectivamente, aos da carga máxima de ensaio. Finalmente, a relação percentual entre as médias dos valores obtidos pelos métodos de Van der Veen e de Chin mostrou que as cargas do primeiro eram, em média, 67% superiores aos do segundo.

A análise das curvas de carga x deslocamento mostradas nas figuras 4 e 5 induz ao entendimento do retardo do deslocamento da estaca pelos anéis. Aparentemente a tendência parabólica inicial da curva é desfeita e ela segue como uma reta, atingindo os valores máximos de deslocamento de 19 mm para a estaca TR1 e 17 mm para a estaca TR2.

Deve-se ressaltar, entretanto, que, apesar dos resultados apresentados no trabalho se mostrarem promissores, verifica-se a necessidade da realização de novos ensaios de prova de carga à tração, em especial submetendo às estacas à ruptura, que não foi atingida nos ensaios de prova das estacas citadas nesse trabalho por limitação do sistema de reação, para, então, poder definir os melhores métodos de previsão de carga última das estacas escavadas a seco com anéis submetidas a esforços de tração, ajustando-os, caso necessário.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao engenheiro Pedro Hoss, que executou os ensaios de prova de carga à tração e forneceu os resultados para a realização do trabalho e à empresa AGM Geotécnica, que apoiou financeiramente e logisticamente os ensaios.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006). NBR 12131. *Estacas - Prova de carga estática: método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- Bessa, A. K. S. Monteiro, F. F.; Aguiar, M. F. P. de; Monteiro, T.M.; Oliveira, F. H. L. de. (2016). Análise de Métodos de Interpretação de Curva Carga x Recalque de Provas de Carga Estática em Fundações Profundas



XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica  
 IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas  
 IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens  
 VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens  
 15 a 18 de Setembro de 2020 – Campinas - SP



no Nordeste do Brasil. In: XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (XVIII COBRAMSEG), Belo Horizonte/MG.

- Brandão, L. B. D. (2016). *Estudo da Capacidade de Carga de Estacas Escavadas Seco com Anéis*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação – Bacharelado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Alagoas, Maceió. 93p.
- Cintra, J. C. A.; Aoki, N.; Tsuha, C. H.; Gianchetti, H. L. (2013) *Fundações: ensaios estáticos e dinâmicos*. 1 ed. São Paulo/SP.
- Dias, A. B. A. N. (2016). *Consolidação da Ponta em Estacas Escavadas*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação – Bacharelado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Alagoas, Maceió.
- França, D. C. (2011) *Provas de Carga Estáticas Instrumentadas em Profundidade em Estacas de Grande Diâmetro (Estacões)*. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 162 p.
- Marques, J. A. F.; Marques, A.G.; Marques, R.F. (2012). Estacas Escavadas com Trado Mecanizado, com Anéis ao Longo do Fuste. In: XVI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (XVI COBRAMSEG), Porto de Galinhas/PE.
- Torres, G. H. F. S. (2018) *Análise da Transferência de Carga em Estacas Escavadas a Seco com e sem Anéis*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação – Bacharelado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Alagoas, Maceió.
- Van Der Veen (1953). The Bearing Capacity of a Pile. In: 3rd ICSMFE. vol. 2. p.84-90.