

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
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Avaliação da capacidade de carga a compressão de microestacas em solo da região de Campinas/SP

Joaquim Ribeiro de Castro Neto

Engenheiro Mestre, Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP, Brasil, jdecastro.civil@gmail.com

Paulo José Rocha de Albuquerque

Professor Associado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP, Brasil, pjra@unicamp.br

David de Carvalho

Professor Associado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP, Brasil, david@unicamp.br

RESUMO: Este trabalho avalia o comportamento a compressão de duas microestacas (MC1 e MC2), por meio de prova de carga estática lenta a compressão. As microestacas têm como armadura principal uma camisa metálica de aço API-N80, diâmetro nominal de 0,30 m e comprimento aproximado de 20 m. Foram executadas no Campo Experimental III da Unicamp onde o solo superficial é argiloso, poroso e colapsível. Nenhum dos ensaios alcançou ruptura nítida, sendo que na MC1 a carga máxima foi 2210 kN e na MC2 2470 kN e os recalques 24 mm e 26 mm, respectivamente. Dessa forma, a carga de ruptura foi estimada pelo critério de Van der Veen modificado por Aoki (1976) e comparada com estimativas dadas pelos métodos semiempíricos Lizzi (1982), Bustamante e Doix (1985) e FHWA (2005). Concluiu-se que o primeiro foi mais conservador e esses dois últimos resultaram em valores mais condizentes.

PALAVRAS-CHAVE: Microestaca, Prova de Carga Estática, Métodos Semiempíricos.

ABSTRACT: This research evaluates the compressive behavior of two micropiles (MC1 and MC2), through a compression slow static load test. The micropiles have as main reinforcement an API-N80 steel tube, nominal diameter of 0.3 m and approximate length of 20 m. They were carried out in the Experimental Site III at Unicamp, where the surface soil is clayey, porous and collapsible. None of the tests reached a clear rupture, with the maximum load on the MC1 being 2210 kN and on the MC2 2470 kN and the settlements 24 mm and 26 mm, respectively. Thus, the ultimate resistance force was estimated using the Van der Veen criterion modified by Aoki (1976) and compared with estimates given by the semi-empirical methods Lizzi (1982), Bustamante and Doix (1985) and FHWA (2005). It was concluded that the first one was more conservative and the last two resulted in more consistent values.

KEYWORDS: Micropile, Static Load Test, Semi-empirical methods.

1 Introdução

A técnica das microestacas remonta à Europa na década de 50, quando o engenheiro italiano Fernando Lizzi desenvolveu o *pali radice* como uma estrutura de fundação para reforço de edificações danificadas durante a 2ª Guerra Mundial. Atualmente são utilizadas tanto como reforço quando fundação de novas construções. Embora existam muitas técnicas executivas, a maioria delas possibilita a execução em solos de alta resistência, inclusive rochas, espaços com pé direito reduzido e locais de relevo irregular (FHWA, 2005). Geralmente possuem diâmetro de até 0,3 m, injetadas com calda de cimento ou argamassa e são armadas ao longo de todo comprimento. Por esses motivos, na maioria das vezes, elas resultam em maior capacidade de carga quando comparadas a outros tipos de estacas. No Brasil seu uso iniciou-se na década de 80, sendo que atualmente os modelos mais conhecidos de microestaca são a estaca raiz e a microestaca injetada com válvula manchete. Outros exemplos de microestacas executadas no Brasil, segundo Castro Neto (2021), são a estaca injetada autoperfurante (EIA) e a estaca de pequeno diâmetro cravada e injetada (EPDCI)

Segundo a FHWA (2005) as microestacas são classificadas em quatro tipos, os quais se diferenciam pela técnica de injeção e pressão aplicada. Ressalta-se que de acordo com essa classificação, diferente do



entendimento brasileiro, esse tipo de fundação não é necessariamente injetada – como a microestaca tipo A. Na Tabela 1 são apresentadas essas classificações.

A capacidade de carga das microestacas pode ser estimada através de métodos semiempíricos ou definida a partir de provas de carga. Embora os métodos Aoki e Velloso (1975) e Decourt e Quaresma (1978, 2016) forneçam parâmetros para esse tipo de fundação, existem outros que são específicos para microestacas, tais como, FHWA (2005), Lizzi (1982) e Bustamante e Doix (1985). Neste trabalho optou-se pela aplicação desses três últimos.

Tabela 1. Classificação das microestacas (FHWA, 2005).

Tipo A	Não utiliza injeção.
Tipo B	Um tampão é acoplado na cabeça da estaca, fazendo-se a injeção da calda de cimento concomitantemente a retirada do revestimento. A pressão utilizada varia entre 0,5 e 1,0 MPa.
Tipo C	Do francês designada por <i>Injection Globale et Unitaire</i> (IGU). Executada em duas etapas. Primeiro aplica-se a nata de cimento sem injeção. Após 15 a 25 minutos, aplica-se a injeção no topo da estaca através de um tubo com válvulas. A pressão deve ser de no mínimo 1 MPa.
Tipo D	Do francês designada por <i>Injection Répétitive et Sélective</i> (IRS). Inicialmente aplica-se a argamassa sem pressão. Após o endurecimento faz-se a injeção, com pressão entre 2 e 8 MPa, através de um tubo com válvula. Um obturador duplo pode ser usado para tratar uma região específica do fuste. É usual aguardar um intervalo de 24 horas entre as fases de injeção, podendo repetir o processo até quatro vezes.

Embora os métodos semiempíricos sejam muito úteis e práticos para estimar a capacidade de carga, é através de ensaios de provas de carga estática (PCE) que se tem uma avaliação mais satisfatória do comportamento das fundações. Segundo Albuquerque (2001), os principais objetivos da realização desse ensaio são:

- assegurar que não irá ocorrer ruptura para uma certa carga de trabalho;
- avaliar a integridade estrutural do elemento de fundação;
- determinar qual a carga de ruptura, realizando uma verificação das estimativas;
- determinar o deslocamento de um elemento de fundação, especialmente para a região da carga de trabalho.

Com o objetivo de avaliar o desempenho de uma nova técnica de microestaca no Brasil, criou-se o Campo Experimental III na Unicamp, no qual foram executadas seis microestacas. Nelas foram realizados ensaios de prova de carga estática a compressão, a tração e horizontal. Os dados foram avaliados por alunos de mestrado da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – FEC, tendo sido publicado os seguintes trabalhos: Fiscina (2020), Tarozzo (2020), Castro Neto (2021) e Fiscina, Barbosa e Albuquerque (2021). São objeto de estudo do presente trabalho duas microestacas, designadas MC1 e MC2, as quais foram submetidas a prova de carga estática a compressão. Como se verá a seguir, a principal diferença dessa nova técnica para a usualmente aplicada está no uso de uma camisa metálica de aço API-N80 e nas válvulas utilizadas para a injeção.

2 Perfil do Subsolo

O Campo Experimental III da Unicamp está localizado na Faculdade de Engenharia Agrícola – Feagri, o qual foi implementado no primeiro semestre de 2018 (Figura 1). Nas proximidades existem também o Campo Experimental I na Feagri e o Campo Experimental II na Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – FEC. Nessa região predomina uma camada superficial de solo coluvionar, poroso e colapsível seguida de camada de solo residual de diabásio (ALBUQUERQUE, 2001; CASTRO NETO, 2021; SCHULZE, 2013).

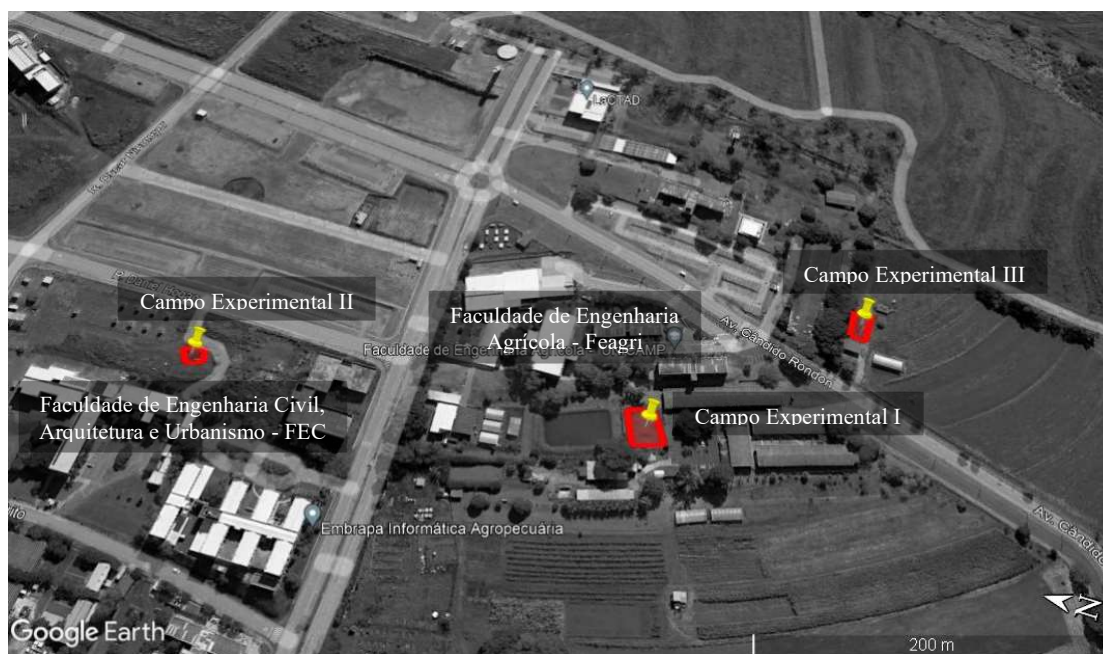


Figura 1. Localização dos campos experimentais da Unicamp (Do Autor, 2021).

No local foram realizadas cinco sondagens a percussão com medida de torque (SPT-T) em março/2018 e duas sondagens por piezocone (CPTU) em outubro/2018, cujos resultados de resistência a penetração, resistência de ponta e atrito lateral são mostrados na Figura 2. Em um dos furos do SPT-T alcançou-se um material impenetrável a 15,3 m de profundidade, porém nos demais o critério de parada do ensaio foi definido de acordo com as necessidades do projeto. Além disso, em outros dois pontos o nível d'água foi definido em aproximadamente 17,5 m e nos outros não foi encontrada camada saturada. Nas sondagens CPTU alcançou-se a profundidade máxima de aproximadamente 25 m, sendo que pressões neutras (u_2) foram detectadas a partir de 9 m.

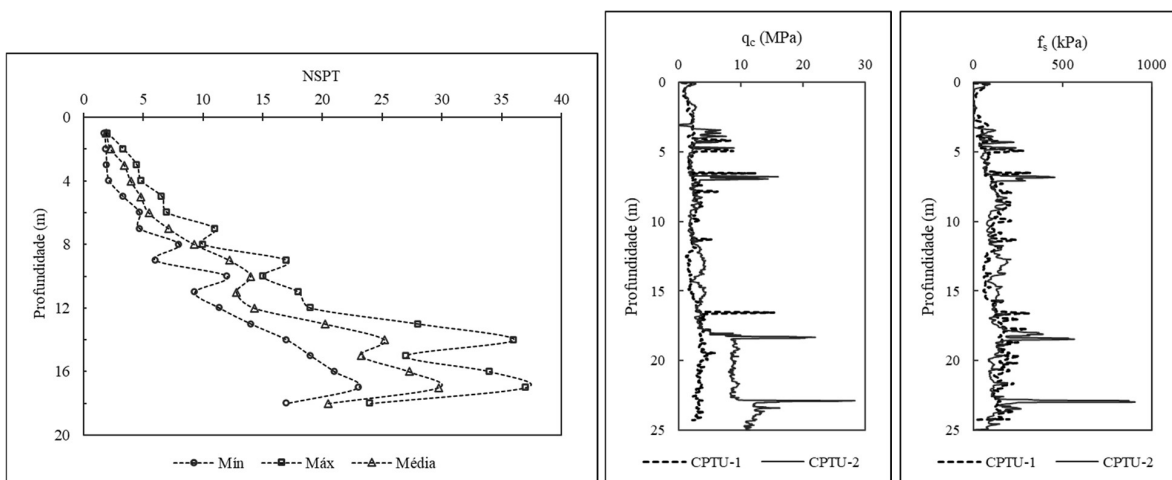


Figura 2. Resultado das sondagens SPT e CPTU (Do Autor, 2021).

A partir desses valores e dos laudos de sondagens, definiu-se que o perfil geotécnico representativo do Campo Experimental III é formado por três camadas de solo predominantemente argiloso cujos parâmetros são apresentados na Figura 3.

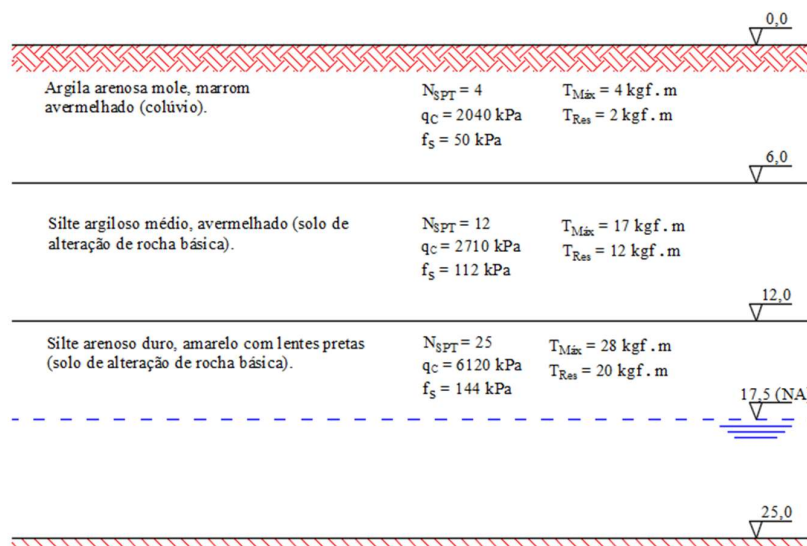


Figura 3. Perfil Geotécnico do Campo Experimental III (Do Autor, 2021).

3 Execução das Estacas e das Provas de Carga

Foram executadas duas microestacas de aproximadamente 20 m de comprimento e 0,3 m de diâmetro, denominadas MC1 e MC2, sobre as quais foram realizadas provas de carga estática a compressão. As etapas da execução foram:

- perfuração por roto-percussão e circulação de água utilizando segmentos rosqueáveis de tubos metálicos, do tipo API N-80, sendo que o segmento inicial era dotado de uma coroa para perfuração em solo. Ao atingir camada de solo resistente empregou-se uma ferramenta apropriada, à qual foi descida por dentro da camisa metálica;
 - terminada a perfuração inseriu-se um obturador simples dentro da camisa metálica até a base da microestaca e injetou-se de calda de cimento cujo fluxo foi ascendente e por fora da camisa metálica. Além de expulsar o material residual da perfuração, esse procedimento teve o objetivo de preencher o espaço anelar entre o tubo e o solo, constituindo assim a bainha;
 - após o endurecimento da bainha, inseriu-se um obturador duplo para injeção de calda de cimento, o qual foi posicionado nas profundidades especificadas em projeto, sendo o procedimento realizado de baixo para cima. Essa etapa foi realizada apenas na MC1 em dois trechos distintos ao longo do seu comprimento. As válvulas utilizadas na injeção foram instaladas previamente nas paredes dos tubos metálicos utilizados para a perfuração, dessa forma não foi necessário inserir outro tubo, tal como normalmente se faz utilizando um tubo de PCV, e nem retirar a camisa metálica. Ressalta-se que a injeção pode ser realizada mais de uma vez – 1ª fase, 2ª fase etc. – conforme especificação do projeto. Nesse caso, foi realizada apenas uma fase na MC1;
 - a armadura dessas microestacas foi a própria camisa metálica, portanto terminada a injeção de tratamento ela foi preenchida com calda de cimento utilizando um mangote posicionado na base da perfuração. Dessa forma, os tubos metálicos API N-80 possuem três funções: perfuração, injeção e armação das microestacas. Caso necessário, armadura complementar de aço CA-50 pode ser inserida no interior do tubo, contudo não foi utilizada nesse trabalho;
 - o arrasamento das microestacas foi feito com maçarico, pois foi necessário cortar o segmento de tubo acima da cota de projeto;
 - por fim, executou-se os blocos de coroamento, cujas dimensões foram: 0,6 m x 0,6 x 0,6 m.
- Fotos dos materiais empregados na execução das microestacas são apresentadas na Figura 4.

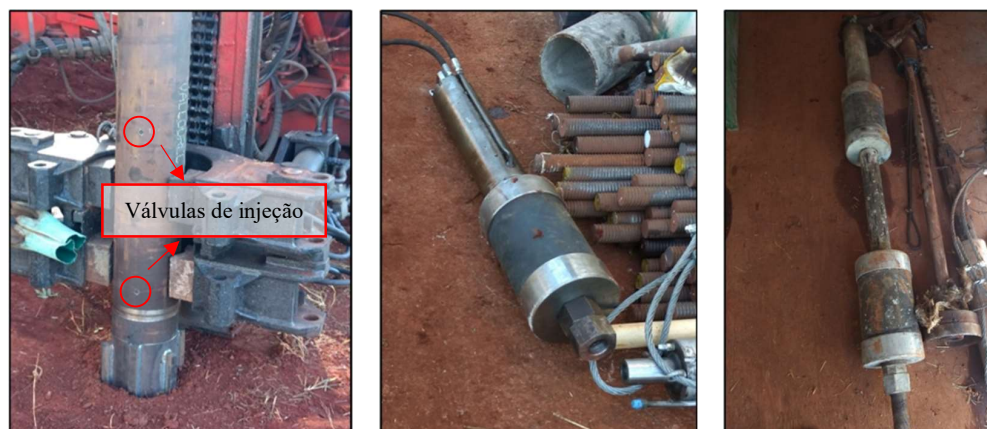


Figura 4. Tubo API-N80 dotado de válvulas, obturador simples e obturador duplo (Do Autor, 2021).

Ressalta-se que ao contrário das usuais manchetes, as válvulas empregadas na execução dessas microestacas possuíam corpo de alumínio, eixo rotativo, e borracha obturadora com pressão de abertura aproximada de 2 MPa. Elas se fecham imediatamente após a retirada da pressão, impedindo o retorno da calda de cimento para o interior do tubo. Nessa técnica, elas são instaladas nas paredes dos tubos em grupos de quatro, diametralmente opostas e espaçamento vertical de 0,5 m. Para garantir o funcionamento correto do dispositivo a calda deve ter fator água-cimento igual a 0,5. A pressão média durante a injeção da MC1 foi 1,5 MPa na porção superior e 2,3 MPa na inferior, tendo sido utilizados 15 sacos de cimento na primeira e 12 na segunda.

O sistema de reação das provas de carga era composto por quatro microestacas executadas tal como descrito anteriormente, contudo, sem a injeção de tratamento. Elas possuíam 17 m de comprimento e 0,3 m de diâmetro, reforçadas integralmente com tirantes monobarra INCO 45D de diâmetro nominal de 44 mm e limite de escoamento igual a 897 kN. Cada tirante possuía 2,0 m de comprimento, os quais foram emendados por luvas rosqueáveis. Eles foram acoplados a uma viga metálica de perfil “I” duplo, 5,3 m de comprimento, seção transversal de 0,80 m, 0,75 m de altura e massa total de aproximadamente 4000 kg, projetada para resistir a uma carga concentrada no centro do vão de até 3000 kN. Uma representação da montagem da PCE é mostrada na Figura 5.

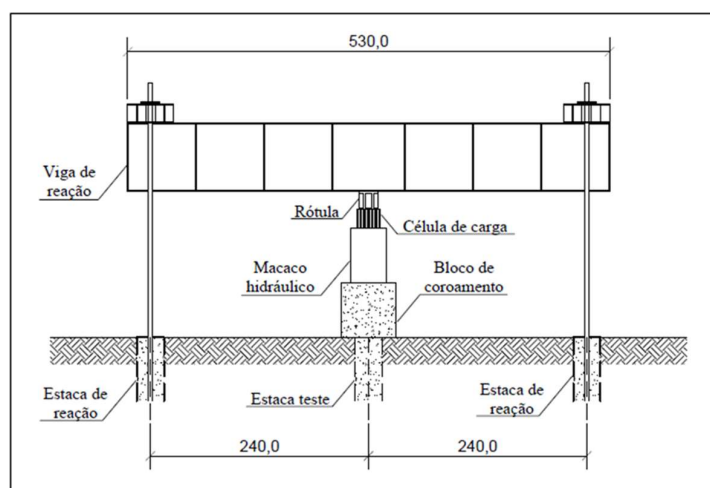


Figura 5. Representação da prova de carga, cotas em centímetros (Do Autor, 2021).

As provas de carga estáticas a compressão, do tipo lenta, foram realizadas seguindo as instruções da NBR 12131: Estacas – Prova de carga estática – Método de ensaio (ABNT, 2006). Foram aplicados incrementos de carga de 130 kN, sendo que os valores da carga e deslocamentos eram medidos por sistema eletrônico de aquisição de dados acoplado a uma célula de carga e transdutores de deslocamento (LVDT's).



4 Resultados e Discussões

Foram empregados três métodos de semiempíricos de estimativa de capacidade de carga de microestacas, sendo: FHWA (20005), Lizzi (1982) e Bustamante e Doix (1985). Os dois primeiros consideraram apenas a resistência lateral e o terceiro sugere adotar um valor entre 15% e 20% da resistência lateral para a resistência de ponta. Contudo, devido aos aspectos construtivos das microestacas deste trabalho, a resistência de ponta do método de Bustamante e Doix (1985) foi desconsiderada. Para esse método foram considerados os parâmetros da injeção tipo IRS e IGU a fim de avaliar qual é mais adequado às microestacas estudadas. Dessa forma, considerando o tipo de solo e os valores de NSPT do Campo Experimental III obteve-se as estimativas da capacidade de carga conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2. Estimativas da capacidade de carga. ⁽¹⁾ Considerando IRS. ⁽²⁾ Considerando IGU.
 (Elaborado pelo Autor, 2021)

Microestaca	FHWA (2005)	Lizzi (1982)	Bustamante e Doix (1985)
MC1	2576 kN	2121 kN	5270 kN ⁽¹⁾ 2932 kN ⁽²⁾
MC2	2441 kN	1979 kN	4931 kN ⁽¹⁾ 2734 kN ⁽²⁾

As provas de carga de ambas microestacas foram finalizadas antes de atingirem ruptura nítida do sistema fundação-solo. No caso da MC1 houve ruptura por rotação do bloco de coroamento devido excentricidade com relação ao centro da microestaca, dessa forma não foi obtida a curva de descarregamento visto ter sido uma interrupção brusca. A carga máxima aplicada foi 2210 kN que provocou um deslocamento medido no topo da microestaca de 24 mm. A prova de carga da MC2 foi finalizada por insuficiência do sistema de reação, sendo que o deslocamento máximo do topo foi 26 mm para uma carga de 2470 kN. O descarregamento foi realizado em três estágios de 15 min cada, sendo que houve uma recuperação de 80% do deslocamento. As curvas carga-deslocamento são apresentadas na Figura 6, sendo a escala conforme preconizada pela ABNT NBR 6122/2019.

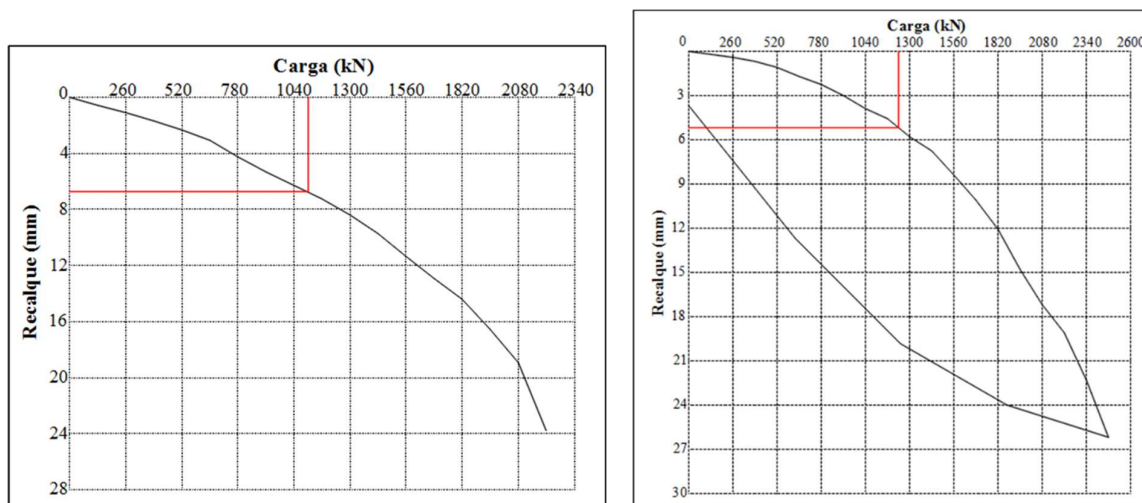


Figura 6. Curvas carga-deslocamento da MC1 (esq.) e MC2 (dir.) (Do Autor, 2021).

Percebe-se que a curva da MC1 apresenta trecho elástico-linear (reta) até a carga de 1820 kN e a partir dela tem-se o trecho elasto-plástico (curva). A carga de ruptura física foi estimada pelo critério de Van der Veen modificado por Aoki (1976), que resultou em 2560 kN.

Na curva do ensaio da MC2 observa-se a ausência de um trecho reto (elástico-linear), sendo que houve uma evolução continuada do deslocamento em função da carga aplicada sem caracterizar ruptura nítida do sistema solo-fundação. A recuperação de mais de 80% do deslocamento do topo é atribuída à armadura da microestaca composta pelo tubo de aço API-N80, o qual possui elevado módulo de elasticidade. O critério de Van der Veen modificado por Aoki (1976) resultou numa carga de ruptura física igual a 2764 kN.

Em ambos os casos, a carga máxima do ensaio foi maior que 85% da carga de ruptura física estimada pelo critério de Van der Veen modificado por Aoki (1976). Isso indica boa acurácia do cálculo, visto que



Alledi (2013) obteve boas estimativas com esse critério quando a diferença entre os valores do ensaio e estimado era de pelo menos 75%. Monteiro et al. (2018) e Paschoalin e Albuquerque (2012) recomendam esse critério quando a carga máxima do ensaio for de 80% a 90% da carga de ruptura estimada, o que também corrobora positivamente para o resultado encontrado no presente trabalho.

Comparando as estimativas de capacidade de carga pelos métodos semiempíricos com a carga de ruptura do critério de Van der Veen modificado por Aoki (1976) observa-se que os métodos FHWA (2005) e Bustamante e Doix (1985) – IGU apresentaram valores dentro da margem $\pm 20\%$ para as duas microestacas. Era esperado que no método de Bustamante e Doix (1985) os parâmetros relativos à injeção IRS fossem mais assertivos para a MC1 e os relativos a injeção IGU para a MC2. Contudo, nota-se que a capacidade de carga dada pela adesão tipo IRS foi aproximadamente o dobro da carga de ruptura estimada. Por fim, o método de Lizzi (1982) foi mais conservador, resultando em 80% da carga de ruptura de Van der Veen modificado por Aoki para a MC1 e 70% para a MC2. Tais resultados são apresentados na Figura 7.

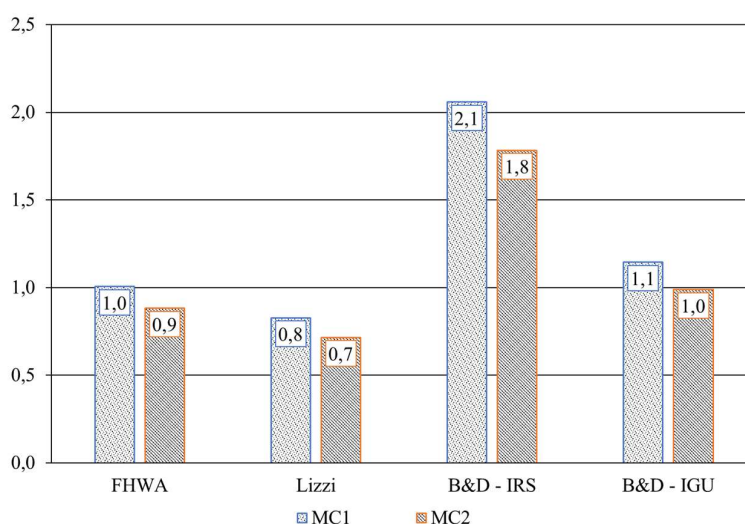


Figura 7. Comparação dos métodos semiempíricos com a carga de ruptura extrapolada (Do Autor, 2021).

5 Conclusões

A interrupção brusca da prova de carga da MC1 prejudicou a avaliação do desempenho. Apesar disso, do resultado obtido na MC2, onde mais de 80% do deslocamento de topo foi recuperado, infere-se que o uso da camisa metálica API-N80 trouxe os resultados esperados. Conclui-se também que o uso do próprio tubo da perfuração para injetar e armar a microestaca tornou a execução menos trabalhosa quando comparada à técnica convencional. O funcionamento das válvulas foi como esperado, visto ter alcançado pressão de injeção próxima de 2 MPa.

Embora a MC1 seja classificada no tipo D, injeção IRS, a estimativa da capacidade de carga pelo método de Bustamante e Doix (1985) ficou mais próxima da carga de ruptura quando utilizado os parâmetros de IGU. No caso da MC2, microestaca do tipo C, a estimativa por esse método foi como o esperado. O método da FHWA (2005) apresentou estimativas condizentes para as duas microestacas, ficando dentro da margem de $\pm 20\%$ da carga de ruptura estimada a partir do ensaio. Pelo método de Lizzi (1982) a capacidade de carga estimada para a MC2 ficou abaixo dessa margem.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio dado pela Universidade Estadual de Campinas, a empresa Icontep Sistemas de Ancoragem pela execução das microestacas e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes pela bolsa de mestrado aos alunos que participaram desse estudo.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, P. J. R. De. **Estacas Escavadas, Hélice Contínua e Ômega: Estudo do Comportamento à Compressão em Solo Residual de Diabásio, através de Provas de Carga Instrumentadas em Profundidade**. 2001. 297 p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- AOKI, N. **Considerações sobre a capacidade de carga de estacas isoladas**, 1976. Curso de extensão universitária em Engenharia de Fundações, ministrado na Universidade Gama Filho, Rio de Janeiro, 1976.
- AOKI, N.; VELLOSO, D. A. An approximate method to estimate the bearing capacity of piles. Congresso Panamericano de Mecânica de Suelos y Cimentaciones. **Anais...** Sociedade Argentina de Mecânica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones, Buenos Aires: 1975.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12131. **Estacas - Prova de carga estática: método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2006. 8 p.
- BUSTAMANTE, M.; DOIX, B. Une méthode pour le calcul des tirants et des micropieux injectés. **Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées**, [s. l.], n. 140, p. 75–92, 1985. Disponível em: <<http://www.unife.it/ing/lm.civile/insegnamenti/fondazioni/altre-informazioni/laboratorio-fondazioni-progetto-pali-2>>. Acesso em: 5 set. 2019.
- CASTRO NETO, J. R. De. **Estaca injetada instrumentada tipo Incopile: avaliação do comportamento à compressão em solo tropical da região de Campinas/SP**. 2021. 157 p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. Disponível em: http://acervus.unicamp.br/index.asp?codigo_sophia=1162301. Acesso em: 11 dez. 2021.
- DÉCOURT, L.; QUARESMA, A. R. Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Fundações, 6. **Anais...** ABMS, Rio de Janeiro/RJ: 1978.
- DÉCOURT, L. Análise e Projeto de Fundações Profundas. In: FALCONI, F. et al. (Eds.). **Fundações: teoria e prática**. 3. ed. São Paulo: Pini, 2016. p. 265–301.
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION – FHWA. **Micropile Design and Construction**. 2005.
- PASCHOALIN FILHO, J. A.; ALBUQUERQUE, P. J. R. De. Aplicação do Método de Van der Veen (1953) Para a Estimativa das Cargas de Ruptura de Estacas Raiz Tracionadas Executadas em Solo Poroso de Diabásio. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 16. **Anais...** ABMS, Porto de Galinhas: 2012.
- SCHULZE, Tami. **Análise da capacidade de carga de estaca escavada instrumentada de pequeno diâmetro por meio de métodos semi-empíricos**. 2013. 136 p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. Disponível em: http://acervus.unicamp.br/index.asp?codigo_sophia=909385. Acesso em: 11 dez. 2021.
- FISCINA, Luiz Felipe Goulart. **On the interpretation of the failure mechanism of instrumented post-grouted micropiles submitted to compression and tensile axial loads in diabase soil**: Interpretação do mecanismo de falha de microestacas injetadas e instrumentadas, submetidas a solicitações de compressão e tração, em solo de diabásio. 2020. 363 p. Dissertação (mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. Disponível em: http://acervus.unicamp.br/index.asp?codigo_sophia=1161890. Acesso em: 11 dez. 2021.
- TAROZZO, Murilo Heryaldo Pinheiro. **Análise de provas de carga em microestacas injetadas (incopiles) submetidas a carregamentos horizontais em solo de diabásio, em Campinas**. 2020. 182 p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, SP. Disponível em: http://acervus.unicamp.br/index.asp?codigo_sophia=1161735. Acesso em: 11 dez. 2021.
- Fiscina, L.F.G., Barbosa, Y., de Albuquerque, P.J.R. et al. **Field study on axial behavior of instrumented post-grouted steel pipe micropiles in tropical lateritic soil**. *Innov. Infrastruct. Solut.* 6, 56 (2021). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s41062-020-00411-x>. Acesso em: 11 dez. 2021.