

Previsão do comportamento carga-recalque em estaca pré-moldada de concreto em campo experimental na cidade de Ponta Grossa-PR

Gustavo do Prado

Graduando, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil, gustavoprado98@outlook.com

Maitê Milléo Almeida

Mestranda, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil, maitemilleo12@gmail.com

Bianca Penteado de Almeida Tonus

Professora, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil, bpatonus@uepg.br

Carlos Emanuel Ribeiro Lautenschläger

Professor, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil, cerlautenschlager@uepg.br

Luiz Henrique Felipe Olavo

Engenheiro Civil, ENSOLO Engenharia de Solos e Fundações Ltda, Pinhais, Brasil, luiz@ensolo.com.br

RESUMO: O evento de previsão do comportamento carga-recalque em uma estaca pré-moldada de concreto, executada em solo argiloso da região de Ponta Grossa, PR, foi apresentado no XIII Simpósio de Práticas de Engenharia Geotécnica da Região Sul (GEOSUL). As previsões basearam-se em sondagens à percussão (SPT), no diagrama de cravação da estaca e na caracterização do subsolo do Campo Experimental de Estudos Geotécnicos de Ponta Grossa (CEEG-PG), localizado na Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). A estaca utilizada no evento foi do tipo pré-moldada, com seção quadrada de 20 cm e comprimento de 12 m, sendo 11 m cravados. Ademais, foram recebidas pelo comitê organizador 14 previsões de capacidade de carga de ponta, lateral e total, bem como estimativas de recalque, com o resumo dos métodos utilizados e considerações. Os participantes realizaram suas estimativas por meio de métodos clássicos consagrados, como Aoki e Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1978), Teixeira (1996), Poulos e Davis (1980), além de modelagem numérica em elementos finitos (MEF) e métodos ajustados baseados na literatura. A partir destes dados e dos resultados obtidos no ensaio de carregamento dinâmico (ECD), foi possível realizar a análise comparativa entre os valores obtidos no ensaio e os apresentados pelos participantes. Concluiu-se que, em sua maioria, os resultados obtidos a partir de métodos semiempíricos apresentaram baixos desvios de resistência à atrito lateral, mas grandes desvios em relação à resistência de ponta, em comparação com os resultados obtidos no ensaio de carregamento dinâmico. Da mesma forma, para os recalques, foram estabelecidos quatro pontos para análise: 25%, 50%, 75% e 100% na curva carga-recalque. A partir dos valores de recalque obtidos no ensaio de carregamento dinâmico, foi possível analisar que os participantes que utilizaram modelagem numérica fundamentada no comportamento elasto-plástico do solo apresentaram resultados mais próximos aos valores reais com relação àqueles que utilizaram métodos simplificados para sua obtenção.

PALAVRAS-CHAVE: Estaca pré-moldada, Ensaio de carregamento dinâmico, Campo experimental, Previsão de curva carga-recalque.

ABSTRACT: The event of predicting the load-settlement behavior in a precast concrete pile, built in clayey soil in the region of Ponta Grossa, PR, was presented at the XIII Symposium on Geotechnical Engineering Practices of the Southern Region (GEOSUL). The predictions were based on percussion surveys (SPT), the pile driving diagram and the characterization of the subsoil of the Experimental Field for Geotechnical Studies of Ponta Grossa (CEEG-PG), located at the State University of Ponta Grossa (UEPG). The pile used in the event was pre-cast, with a square section of 20 cm and a length of 12 m, of which 11 m were driven. 14 forecasts of tip, lateral and total load capacity, as well as settlement estimates, were received by the organizing

committee, with a summary of the methods used and considerations. Participants made their estimates using established classical methods as well as numerical modeling in finite elements (FEM) and adjusted methods based on literature. Based on these data and the results obtained in the dynamic loading test (DLT), it was possible to carry out a comparative analysis between the values obtained in the test and those presented by the participants. It was concluded that, for the most part, the results obtained from semi-empirical methods showed low deviations in resistance to lateral friction, but large deviations in relation to the tip resistance, compared to the results obtained in the dynamic loading test. Likewise, for settlements, four points were established for analysis: 25%, 50%, 75% and 100% on the load-settlement curve. From the settlement values obtained in the dynamic loading test, it was possible to analyze that the participants who used numerical modeling based on the elasto-plastic behavior of the soil presented results closer to the real values in relation to those who used simplified methods to obtain them.

KEYWORDS: Precast concrete pile, Dynamic loading test, Experimental site, Load-settlement curve prediction.

1 INTRODUÇÃO

Por ocasião do XIII GEOSUL, Simpósio de Práticas de Engenharia Geotécnica da Região Sul, realizado em novembro de 2023 na cidade de Ponta Grossa-PR, foi proposto um concurso para obtenção da curva carga-recalque de uma estaca pré-moldada de seção quadrada de 20 cm de lado, com 12 metros de comprimento, sendo 11 metros cravados e 1 metro deixado acima do nível do terreno.

A estaca foi cravada previamente ao lançamento do edital do concurso, sendo que o mesmo continha o diagrama de cravação da estaca, as sondagens SPT e ensaios de caracterização do solo do Campo Experimental de Engenharia Geotécnica da Universidade Estadual de Ponta Grossa (CEEG-PG), onde a estaca foi locada.

Foram recebidas 14 propostas contendo a previsão da capacidade de carga da estaca, separando as parcelas de atrito lateral, carga de ponta e carga de ruptura total, além da previsão da curva carga-recalque.

Após o recebimento das propostas e antes do evento foi realizado um ensaio de carregamento dinâmico na estaca, medindo-se também o deslocamento causado apenas pelo peso do martelo, apoiado estaticamente sobre a estaca com um relógio comparador de modo a se obter um ponto da curva carga-recalque estática conforme procedimento descrito por Murakami (2015).

As propostas foram comparadas com a curva carga-recalque obtida da análise CAPWAP ajustando-se o valor de quake lateral de modo que o recalque para a carga equivalente ao peso do martelo aplicado estaticamente coincidissem com o valor medido com o relógio comparador. Foram dadas notas para as parcelas de atrito lateral, ponta e carga de ruptura previstas em comparação com os valores obtidos na análise CAPWAP, bem como as previsões de recalque para 25%, 50%, 75% e 100% da carga de ruptura obtida na análise de modo a ter um critério objetivo de comparação entre as propostas e verificar qual a mais adequada.

2 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DO CAMPO EXPERIMENTAL

O Campo Experimental de Estudos Geotécnicos (CEEG-PG) localiza-se no município de Ponta Grossa-PR, no Segundo Planalto Paranaense, inserido na Bacia do Paraná. Apesar da heterogeneidade geológica do local, na área urbana há predominância das Formações Ponta Grossa e Furnas, ambas do Grupo Paraná do período Devoniano, e das Formações Campo Mourão e Taciba, ambas do Grupo Itararé do período Permiano. O campo experimental está localizado na Formação Ponta Grossa, que é constituída principalmente por rochas argilosas, denominadas folhelhos, e está próximo à Formação Furnas, composta principalmente por arenitos quartzosos. Já o Grupo Itararé é representado principalmente por arenitos, diamectitos e conglomerados. Ambos os grupos tiveram sua origem no Paleozóico.

A caracterização do campo experimental disponibilizada no concurso de estacas contou com cinco sondagens à percussão e também ensaios de análise granulométrica, densidade real dos grãos e limites de Atterberg, realizados com as amostras retiradas a cada metro das sondagens à percussão SP01 a SP03. A localização das sondagens realizadas e da estaca teste pode ser visualizada na Figura 1. Mais ensaios de caracterização do campo experimental podem ser encontrados em Tonus (2023).

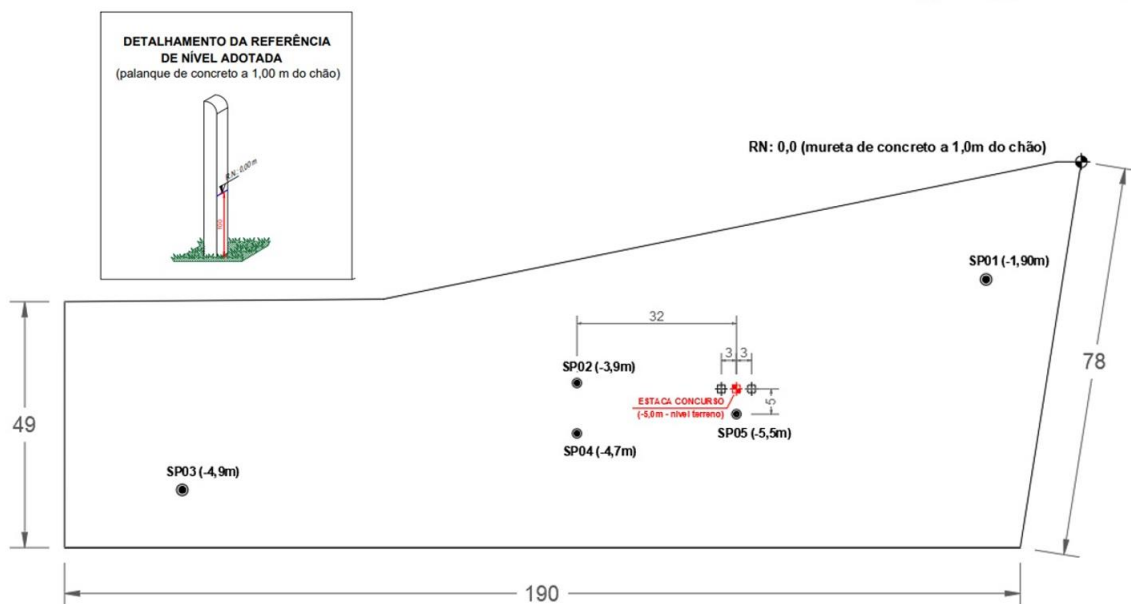


Figura 1. Localização das sondagens à percussão e da estaca teste.

A Figura 2 resume os valores de N_{SPT} encontrados nas sondagens realizadas, bem como apresenta informações do tipo de solo e posição do nível de água. Nota-se que todos os furos de sondagem apresentaram uma camada bastante espessa, em torno de 12m, de argila silto-arenosa com baixa consistência, seguida de uma camada de areia com súbito aumento de compactidade. O nível de água médio foi encontrado a 11,2 m da superfície (TONUS, 2023).

Prof. (m)	N_{SPT}					Solo
	SP01	SP02	SP03	SP04	SP05	
1	2/48	2/42	3	4	3	Argila silto arenosa
2	2	2	6	5	6	
3	2	2/45	2	3	8	
4	2	2	3	4	6	
5	2	2	3	8	9	
6	4	5	5	9	9	
7	5	7	7	5	6	
8	4	4	7	6	7	
9	2/52	5	5	5	7	
10	1/45	6	5	7	11	
11	5	5	3	7	13	
12	5	7	5	11	14	Areia siltosa
13	6	11	4	12	-	
14	9	8	10	15	-	
15	36	39/21	24	-	-	
16	48	-	-	-	-	
NA	10,2	11,9	12,1	10,2	11,8	m

Figura 2. Sondagens à percussão (SPT). FONTE: Tonus (2023).

Com os resultados dos ensaios de caracterização realizados em laboratório com as amostras retiradas das sondagens à percussão SP01 a SP03, observou-se fração argila predominante até aproximadamente 12,0 m e na sequência, a predominância de areia. A densidade das partículas apresentou valores entre 2,63 e 2,85 g/cm³ e o limite de liquidez, entre 30 e 47% para amostras até 14,0 m de profundidade. Ressalta-se que as amostras até essa profundidade apresentaram limite de plasticidade nulo. Conclui-se que o subsolo do campo experimental é composto por uma espessa camada de solo mais fino, que possui em torno de 12 metros e é

relativamente homogênea. Esse solo é granulometricamente classificado como uma argila areno-siltosa, no entanto, como não possui plasticidade, ao ser classificado pela metodologia SUCS resulta em um silte de baixa plasticidade. Abaixo dessa espessa camada, inicia-se uma camada de areia siltosa (TONUS, 2023).

3 CONCURSO DE ESTACAS

Para realização do concurso de estacas foi cravada uma estaca pré-moldada de concreto armado, com seção quadrada de 0,20 m de lado no Campo Experimental de Engenharia Geotécnica de Ponta Grossa-PR. O comprimento da peça era de 12,0 m, sendo que foram cravados 11,0 m e deixado 1,0 m acima do nível do terreno para facilitar o posicionamento dos sensores e execução do ensaio de carregamento dinâmico. A cravação se deu por percussão com martelo de queda livre de 3.980 kg de massa, acionado por guincho com embreagem do tipo patim. O diagrama de cravação desta estaca foi disponibilizado aos participantes juntamente com os resultados de caracterização e pode ser visualizado na Figura 3. Os golpes foram aplicados para cravação a cada 0,50 m, o capacete adotado possuía cepo de madeira dura com 120 mm de altura e foi utilizado coxim de madeirit com 4 chapas de 10mm.

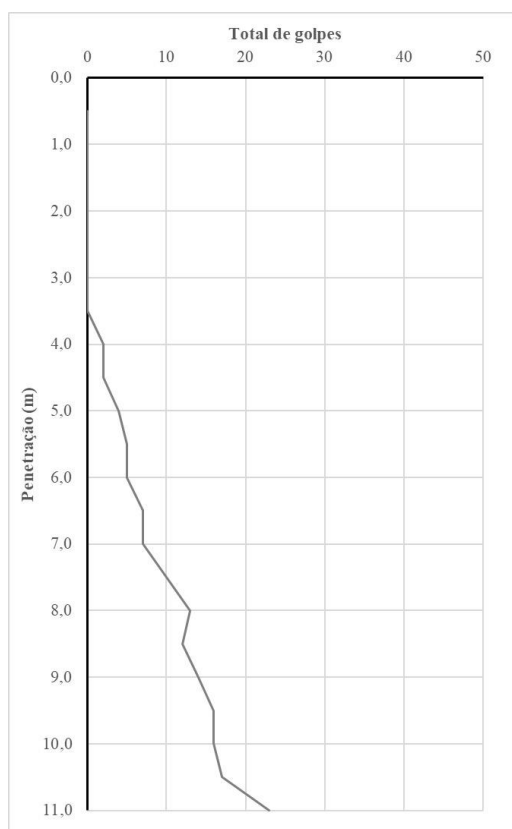


Figura 3. Diagrama de cravação da estaca teste

Para o ensaio de carregamento dinâmico foi usado o mesmo bate-estaca, sendo que foram trocadas as chapas do coxim, sendo utilizadas chapas novas no início do teste. Para o ensaio dinâmico, foi presa na estaca uma cantoneira metálica de modo a se apoiar um relógio comparador. A base do relógio comparador foi fixada em uma viga metálica apoiada a 3 metros de distância da estaca de modo a não sofrer deslocamentos decorrentes da aplicação dos golpes.

O ensaio de carregamento dinâmico foi executado com energia crescente, sendo aplicados golpes com 20, 40, 60, 80, 100 e 120 cm. A estaca apresentou deslocamentos elevados já no segundo golpe, chegando à ruptura convencional estipulada pela NBR 6122 (ABNT, 2019), equivalente a uma deformação plástica igual ao diâmetro dividido por 30 mais a deformação elástica.

Com base nos resultados coletados em campo, os golpes aplicados foram analisados através do software CAPWAP®, sendo que foram utilizados os sinais da onda descendente para com base na resistência e parâmetros do solo recriar a onda ascendente medida nos sensores, em procedimento conforme descrito primeiramente por Rausche *et. al.* (1972). Foram buscados os melhores valores do Match Quality, que é o índice que mede o ajuste entre a onda medida e a computada, de modo a ter o resultado mais exato possível.

No momento da plotagem da curva carga-recalque, foi adicionado um valor ao quake lateral de modo que o recalque da curva para uma carga equivalente ao peso do martelo fosse igual à medida pelo relógio comparador. Esta correção é necessária devido ao fato das deformações serem diferentes para cargas dinâmicas e estáticas (Murakami, 2015).

4 PREVISÕES RECEBIDAS E MÉTODOS UTILIZADOS

Foram recebidas 14 propostas contendo a previsão da capacidade de carga da estaca, onde diferentes métodos foram utilizados. A Figura 4 apresenta todas as curvas carga-recalque recebidas pelos candidatos juntamente com a curva obtida no ensaio de carregamento dinâmico (ECD). Nota-se que os resultados apresentaram elevada variação, pois a capacidade de carga total da estaca variou de 300 kN a 817 kN e os valores de recalque na carga de 50% da carga de ruptura medida apresentaram 1.301% de variação quando comparados aos valores obtidos no ECD.

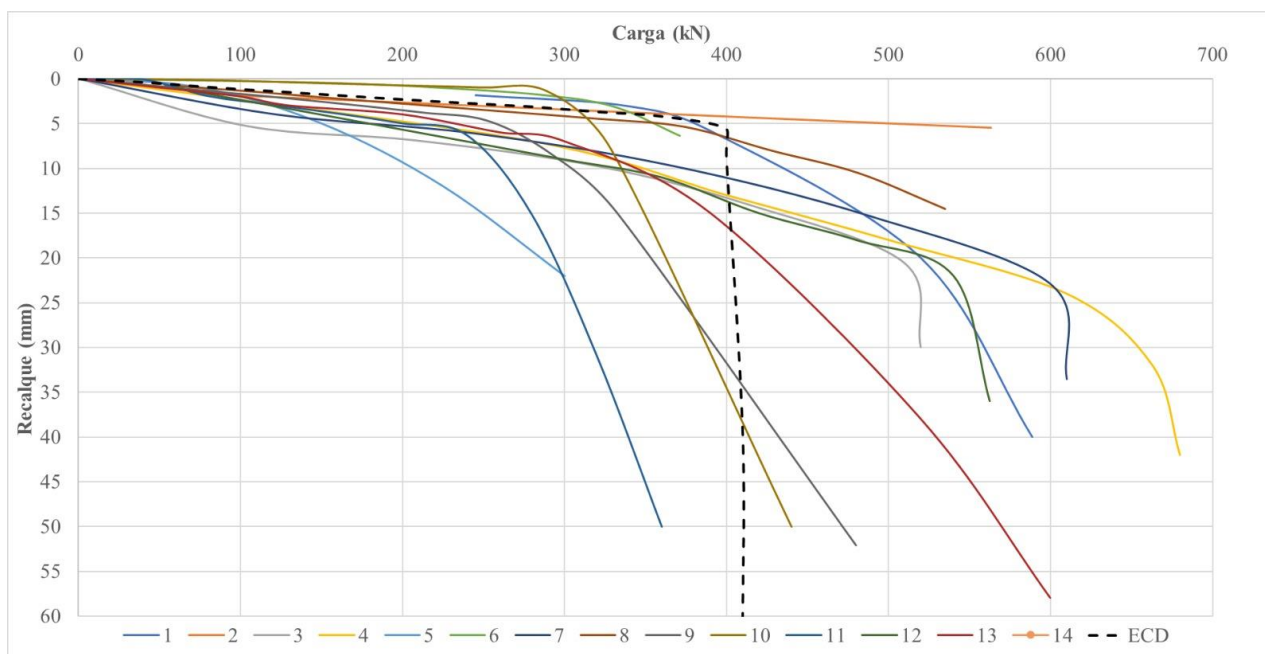


Figura 4. Curvas carga-recalque recebidas e curva estimada pelo ECD

Na tabela 1 é possível verificar os métodos utilizados por cada participante para obtenção da capacidade de carga e do recalque. Nota-se a predominância do uso de métodos semiempíricos na determinação da capacidade de carga e do método de elementos finitos na determinação do recalque.

Quanto a capacidade de carga, na tabela 2 apresentam-se os valores de resistência de ponta, lateral e total enviados por cada candidato, bem como sua variação em relação aos valores ensaiados (ECD). Nota-se que todos os candidatos superestimaram a resistência de ponta e que a maioria subestimou o atrito lateral.

A tabela 3, por sua vez, mostra as previsões de recalque em comparação com a curva carga-recalque obtida no ensaio e ajustada conforme o procedimento proposto por Murakami (2015). Notam-se variações tanto para mais quanto para menos. Estão mostradas as diferenças para as cargas de 25%, 50%, 75% e 100% da carga de ruptura obtida pelo critério da NBR 6122 (ABNT, 2019), equivalentes a 102,6kN, 205,2kN, 307,7kN e 410,3kN, respectivamente.

Assim como a resistência de ponta foi superestimada pelos candidatos, sua rigidez também foi, com exceção de um proponente, que estimou o recalque na carga de 410,3kN superior ao medido. Todos os demais estimaram o recalque nesta carga inferior ao medido.

Tabela 1. Resumo dos métodos utilizados nas previsões do concurso

Candidato	Capacidade de carga	Recalque
1	Método de Elementos Finitos	Método de Elementos Finitos
2	Aoki-Velloso	Poulos e Davis (1980)
3	Décourt-Quaresma	Não descreve o método
4	Formulação própria	Método de Elementos Finitos
5	Aoki-Velloso / Décourt-Quaresma	Não descreve o método
6	Teixeira	Poulos e Davis (1980)
7	Décourt-Quaresma	Não descreve o método
8	Décourt-Quaresma ajustado	Método de Elementos Finitos
9	Método de Elementos Finitos	Método de Elementos Finitos
10	Método de Elementos Finitos	Método de Elementos Finitos
11	Método de Elementos Finitos	Método de Elementos Finitos
12	Décourt-Quaresma	Não descreve o método
13	Método de Elementos Finitos	Método de Elementos Finitos
14	Décourt-Quaresma	Não descreve o método

Tabela 2. Estimativas da capacidade de carga da estaca do concurso

Candidato	Resistência de ponta (kN)	Variação da res. de ponta com relação ao ECD	Resistência lateral (kN)	Variação da res. lateral com relação ao ECD	Resistência total (kN)	Variação da res. total com relação ao ECD
1	200,0	681,3%	500,0	30,0%	700,0	70,6%
2	313,6	1125,0%	249,8	-35,1%	563,4	37,3%
3	156,0	509,4%	364,0	-5,40%	520,0	65,7%
4	272,0	962,5%	408,0	6,1%	680,0	65,7%
5	40,0	56,3%	260,0	-32,4%	300,0	-26,9%
6	117,6	359,4%	253,4	-34,1%	371,0	-9,6%
7	200,0	681,3%	410,0	6,6%	610,0	48,7%
8	160,0	525%	375,0	-2,5%	535,0	30,4%
9	150,0	485,9%	330,0	-14,2%	480,0	17,0%
10	137,5	437,1%	302,5	-21,4%	440,0	7,2%
11	64,8	153,1%	295,2	-23,3%	360,0	-12,3%
12	218,7	754,2%	343,7	-10,6%	562,4	37,1%
13	140,0	446,9%	380,0	-1,2%	520,0	26,7%
14	283,0	1005,5%	534,0	38,8%	817,0	99,1%
ECD	25,6	-	384,7	-	410,3	-

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Analisando primeiramente as capacidades de carga, percebe-se que as melhores estimativas para a carga de ponta foram dos candidatos 5 e 11, sendo que o candidato 5 empregou método semi-empírico e o candidato 11 empregou modelagem numérica com elementos finitos. Para o atrito lateral, as melhores estimativas foram dos candidatos 13, 8 e 3. O candidato 13 empregou método de elementos finitos, enquanto os candidatos 8 e 3 empregaram métodos semi-empíricos. Quanto à carga de ruptura, as melhores previsões foram dos candidatos 10, 6 e 11, sendo que os candidatos 10 e 11 empregaram métodos de elementos finitos, enquanto o candidato 6 utilizou método semi-empírico.

Tabela 3. Estimativas de recalques da estaca do concurso

Candidato	Recalque para 102,6kN (mm)		Recalque para 205,2kN (mm)		Recalque para 307,7kN (mm)		Recalque para 410,3kN (mm)	
1	0,84	-29,0%	1,68	-28,8%	2,67	-23,6%	8,00	-87,2%
2	1,86	57,6%	2,67	13,6%	3,48	-0,6%	4,28	-93,2%
3	4,93	318,2%	6,95	195,2%	9,65	175,5%	13,75	-78,0%
4	2,56	117,5%	5,13	118,0%	8,39	139,5%	13,52	-78,4%
5	2,47	109,6%	10,15	331,3%	23,0	557,6%	36,7	-41,2%
6	0,30	-74,4%	0,86	-63,4%	2,46	-29,9%	9,47	-84,3%
7	3,36	185,2%	5,36	128,0%	8,09	131,0%	11,82	-81,1%
8	1,34	13,8%	2,83	20,1%	4,26	21,8%	7,12	-88,6%
9	1,75	48,6%	3,64	54,9%	10,98	213,5%	34,57	-44,7%
10	0,27	-77,3%	0,78	-66,8%	4,49	28,2%	38,76	-38,0%
11	2,50	111,8%	5,17	119,7%	12,51	257,3%	73,92	18,3%
12	2,42	105,2%	5,84	148,2%	9,26	163,1%	17,52	-72,0%
13	2,09	76,8%	4,17	77,3%	7,69	119,5%	18,59	-70,2%
14	0,88	-25,4%	1,76	-25,3%	2,64	-24,7%	3,52	-94,4%
ECD	1,18	-	2,35	-	3,50	-	62,47	-

Nota-se que os métodos semi-empíricos apresentam bom desempenho de previsão quando devidamente utilizados, mas salienta-se que a modelagem numérica através do método de elementos finitos também está bem representada entre os maiores acertos. Verifica-se que apenas o candidato 11 apresentou previsão realista da ponta e da capacidade total, sendo que os três melhores candidatos para o atrito lateral não figuram entre os três melhores para a carga de ruptura.

Para os recalques, a análise indicou que as melhores estimativas para a carga de 102,6kN foram dos candidatos 8, 14 e 1, sendo que os candidatos 8 e 1 utilizaram método de elementos finitos, enquanto o candidato 14 não descreveu o método empregado. Para a carga de 205,2kN as melhores estimativas foram dos candidatos 2, 8 e 14, sendo que o candidato 2 utilizou o método de Poulos e Davis (1980) baseado na teoria da elasticidade. Para a carga de 307,7kN, as melhores estimativas foram dos candidatos 2, 8 e 1 e para a carga de 410,3kN, as melhores estimativas foram dos candidatos 11, 10 e 9, sendo que os três utilizaram o método de elementos finitos. Percebe-se, entre os melhores acertos, uma predominância do método de elementos finitos, havendo destaque para o método de Poulos e Davis (1980) baseado na teoria da elasticidade.

Para fins de premiação, foi feita uma média ponderada das notas para capacidade de ponta, atrito lateral e carga de ruptura da estaca, bem como dos quatro pontos da curva carga-recalque. As notas cresceram linearmente a partir do zero até o valor da grandeza medida, decrescendo até zero quando se atingiu duas vezes o valor da carga ou recalque, sendo aplicado peso 20 para as cargas de atrito lateral, ponta e de ruptura e peso 10 para cada ponto da curva carga-recalque, totalizando 100 pontos.

Com base neste critério, o terceiro lugar ficou com o candidato 2, com 49,03 pontos, apresentando a melhor estimativa de recalques para as cargas de 205,2kN e 307,7kN utilizando o método de Poulos e Davis (1980). O segundo lugar ficou com o candidato número 10, com 53,26 pontos, que apresentou a melhor estimativa para a carga de ruptura e a melhor estimativa para o recalque na carga de 410,3kN. Finalmente, o vencedor foi o candidato número 8, com 58,99 pontos. Este candidato apresentou a segunda melhor estimativa para o atrito lateral através de método semi-empírico e apresentou a melhor estimativa de recalque para a carga de 102,6kN e a segunda melhor estimativa para as cargas de 205,2kN e de 307,7kN.

6 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram abordadas as avaliações de resistência de ponta, lateral, total e, também, curva carga-recalque de uma estaca pré-moldada utilizada no concurso de estaca do XIII Simpósio de Práticas de Engenharia Geotécnica da Região Sul (GEOSUL). Por meio dos dados fornecidos pelo comitê organizador, foi possível perceber que grande parte dos candidatos fizeram uso de métodos já consagrados na literatura,

com base nas sondagens à percussão fornecidas, e também utilizaram softwares de elementos finitos. A partir dos resultados obtidos, conclui-se:

- A melhor estimativa para a carga de ponta da estaca foi baseada em método semi-empírico. Todas as estimativas para a carga de ponta superestimaram a mesma.
- Além da capacidade da ponta da estaca ter sido superestimada, seu comportamento também foi previsto mais rígido que o observado, exceto por um proponente.
- A baixa capacidade da ponta não era esperada e somente foi encontrado comportamento equivalente em Albuquerque (1996), necessitando estudos futuros.
- Apesar do candidato que conquistou o terceiro lugar ter utilizado o método de Poulos e Davis (1980) para obtenção dos recalques, observa-se uma predominância entre os melhores acertos entre os candidatos que utilizaram modelagem numérica com base em método de elementos finitos, incluindo os dois primeiros lugares.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Estadual de Ponta Grossa, a Ensolo Engenharia de Solos e Fundações e a Gaioski Engenharia, bem como ao comitê organizador do GEOSUL 2023, que tornaram possível a realização do presente concurso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque, P.J.R. (1996). *Análise do comportamento de estaca pré-moldada de pequeno diâmetro, instrumentada, em solo residual de diabásio da região de Campinas*. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas.
- Aoki, N; Velloso, D. A. (1975). *An approximated method to estimate the bearing capacity of piles*. In: Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, v.1, p.367-376, Buenos Aires.
- Décourt. L. (1996). *A ruptura de fundações avaliada com base no conceito de rigidez*. SEFE 3. v. 20, São Paulo.
- Guimarães, G. B.; Melo, M. S.; Giannini, P. C. F.; Melek, P. D. (2007). *Geologia dos Campos Gerais*. Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná. p. 23-32. Ponta Grossa, PR.
- Murakami, D.K. (2015). *Novo procedimento para realização de análises CAPWAP no ensaio de carregamento dinâmico*. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo.
- Poulos, H. G.; Davis, E. H. (1980). *Pile foundation analysis and design*. John Wiley. New York.
- Rausche, F, Moses, F., Goble, G.G. (1972). Soil Resistance Predictions from Pile Dynamics. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, American Society of Civil Engineers. Vol 98, SM9, Proc. Paper 9220.
- Teixeira, A. H. (1996). *Projeto e execução de fundações*. SEFE 3, v.1, São Paulo.
- Tonus, B. P. A.; Bloinski, M.; Lautenschläger, C. E. R.; Olavo, L. H. F.; Faro, V. P. (2022). *Campo Experimental de Estudos Geotécnicos de Ponta Grossa (CEEGPG): classificação do solo local e parâmetros de resistência ao cisalhamento*. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG). p. 3845–3852. Campinas.
- Tonus, B. P. A (2023). *Avaliação da utilização do ensaio de cone térmico (TCT) na determinação de propriedades térmicas do solo para dimensionamento de sistemas geotérmicos*. Tese de doutorado Universidade Federal do Paraná.