

Análise de Confiabilidade de um Estaqueamento em estacas Raíz

Bruno Lucio Moura da Silva

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, RJ, Brasil, blms.eng.civil@gmail.com

Bernadete Ragoni Danziger

Universidade do Estado do Rio e Janeiro, RJ, Brasil, brdanzig@uerj.br

Marcus Pacheco

Universidade do Estado do Rio e Janeiro, RJ, Brasil, marcus_pacheco@terra.com

Paulo Eduardo Lima de Santa Maria

Consultor geotécnico, RJ, Brasil, paulosm@smengenheiros.com.br

RESUMO: A partir da nova versão da NBR 6122 (2010), é atribuída ao projetista de fundações a seleção do enfoque de projeto em valores admissíveis ou em valores de projeto. O enfoque de valores admissíveis considera o fator de segurança global enquanto o de valores de projeto é baseado em fatores de segurança parciais, conceitualmente utilizado de forma ampla pelos projetistas de estruturas. A norma mantém a possibilidade de obtenção da carga admissível (ou carga resistente de projeto) através de provas de carga estáticas (PCE) executadas na fase de elaboração do projeto. Face à redução das incertezas pela realização prévia das PCE, os valores de fatores de segurança são inferiores àqueles considerados para as PCE realizadas após a execução, por ocasião da avaliação de desempenho. A análise de registros de casos de obra é relevante à validação destes aspectos de segurança, uma vez que as normas são modificadas, ao longo dos anos, de forma a procurar garantir a segurança adequada ao bom desempenho de obras projetadas segundo as recomendações vigentes. O artigo objetiva a análise de um banco de dados de PCE em estacas tipo raiz, numa região bem caracterizada geotecnicamente por estudos anteriores. Procurou-se interpretar os resultados à luz das diferentes possibilidades prescritas na NBR 6122 (ABNT, 2010), vislumbrando uma discussão de aspectos ainda polêmicos. Para a interpretação dos resultados, utilizou-se o conceito de probabilidade condicional através da Teoria Bayesiana.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de Confiabilidade, Estacas Raíz, Teoria Bayesiana.

1 INTRODUÇÃO

A norma de Projeto e Execução de Fundações, NBR 6122 (ABNT, 2010), aborda o enfoque de projeto em termos de valores admissíveis ou valores de projeto. No emprego do enfoque de valores admissíveis, o valor estimado de capacidade de carga deve ser dividido por um fator de segurança global de 2. Caso se opte pelo enfoque de segurança em termos de carga resistente de projeto, a carga resistente é obtida pela divisão da capacidade de carga estimada por 1,4.

No caso da execução de PCE na fase de elaboração ou adequação do projeto, a NBR 6122 (ABNT, 2010) permite a redução dos valores de fator de segurança para, respectivamente, 1,6 e 1,14, no enfoque de valores admissíveis e valor resistente de projeto. Neste caso, a norma ressalta que para que se obtenha a carga admissível (ou carga resistente de projeto) a partir PCE, é necessário que: i) a(s) PCE(s) sejam estática(s); ii) a(s) PCE(s) seja(m) especificadas na fase de projeto e executadas no início da obra, de modo que o projeto possa ser adequado para às demais

estacas; iii) a(s) PCE(s) seja(m) levadas até uma carga de no mínimo duas vezes a carga admissível prevista em projeto.

A NBR 6122 (ABNT, 2010) estabelece ainda que, quando em uma mesma região representativa for realizado um número maior de PCE, a resistência característica pode ser determinada pela expressão:

$$R_{c,k} = \text{Min} [(R_{c,cal})_{med} / \xi_3 ; (R_{c,cal})_{min} / \xi_4] \quad (1)$$

onde: $R_{c,k}$ é a resistência característica; $(R_{c,cal})_{med}$ é a resistência característica calculada com base em valores médios dos parâmetros; $(R_{c,cal})_{min}$ é a resistência característica calculada com base em valores mínimos dos parâmetros; ξ_3 e ξ_4 são fatores de minoração de resistência, reproduzidos na Tabela 1, onde, na primeira linha, são indicados os números de PCE e na segunda, respectivamente, os valores de ξ_3 e ξ_4 (entre parênteses). O número de PCE da Tabela 1 se refere àquelas realizadas em estacas de mesmas características e por região representativa do terreno. Esta possibilidade está relacionada à redução na incerteza pelo maior conhecimento face ao maior número de ensaios de campo ou de PCE numa região representativa do subsolo, definida como aquela que apresenta pequena variabilidade de características geotécnicas.

Tabela 1. Valores dos fatores ξ_3 e ξ_4 para determinação de valores característicos das resistências obtidas por provas de carga estáticas.

1	2	3	4	5
1,14	1,11	1,07	1,04	1,00
(1,14)	(1,10)	(1,05)	(1,02)	(1,00)

Aplicados os fatores ξ_3 e ξ_4 da Tabela 1, para a determinação da carga admissível, deve ser empregado um fator de segurança global de no mínimo 1,4. Se a análise for feita em termos de fatores de segurança parciais, não deve ser aplicado fator de minoração de carga.

No presente artigo, procurou-se interpretar os resultados à luz das possibilidades prescritas para os fatores de segurança de fundações profundas na NBR 6122 (ABNT, 2010).

Para a interpretação dos resultados do banco de dados, utiliza-se o conceito de probabilidade

condicional através da Teoria Bayesiana.

A análise do banco de dados é realizada sob duas interpretações distintas. Na primeira considerou-se que as PCE tivessem sido executadas após o término da execução, ou seja, por ocasião da avaliação do desempenho do estaqueamento. Na segunda, as PCE foram consideradas como tendo sido realizadas previamente à obra, durante a fase de elaboração do projeto. Esta segunda alternativa permite que alguns parâmetros dos métodos de cálculo, função do tipo de estaca e de condicionantes geotécnicos, possam ser previamente ajustados aos resultados experimentais.

Os autores objetivam motivar uma discussão mais ampla de aspectos relevantes e polêmicos da Norma, e de interesse prático dos diversos segmentos envolvidos: projetistas, executantes, clientes, certificadores e demais profissionais interessados na adequada segurança das fundações.

2 BANCO DE DADOS

O banco de dados consiste das 20 estacas testadas do conjunto de 1500 estacas tipo raiz das fundações da base dos trilhos do pátio de 15 MN do Estaleiro Rio Grande, na cidade do Rio Grande, no Rio Grande do Sul. As estacas de 410mm penetram 45m no subsolo.

2.1 Geotecnia do Rio Grande

O Estaleiro Rio Grande está implantado na área portuária da cidade de Rio Grande, no Superporto, num pacote superficial arenoso, com área total de 560000 m².

A formação geológica da região, segundo Dias e Bastos (1994), apresenta um subsolo de sedimentos marinhos e lagunares, em um pacote com até 52m de espessura. Trata-se de uma sucessão de materiais justapostos em diversas camadas (areias e argilas) depositados em ambiente transicional altamente influenciado pela maré e correntes de maré enchente e vazante. Dias e Bastos (1997) salientam que a camada basal deste pacote sedimentar ocorre a partir dos 46m de profundidade, com a presença

de areia fina a grossa muito compacta, seguida de estratos de argila silto arenosa e argila siltosa dura até a profundidade máxima investigada na região, de 65,5m. Uma extensa campanha de sondagens foi realizada. Os testemunhos coletados no amostrador padrão foram descritos e analisados na FURG (Goularte, 2012). O perfil estratigráfico indicou quatro camadas representativas e de comportamentos variados, num perfil típico com valores médios de N_{SPT} apresentado por Dias et al. (2008), reproduzido na Figura 1.

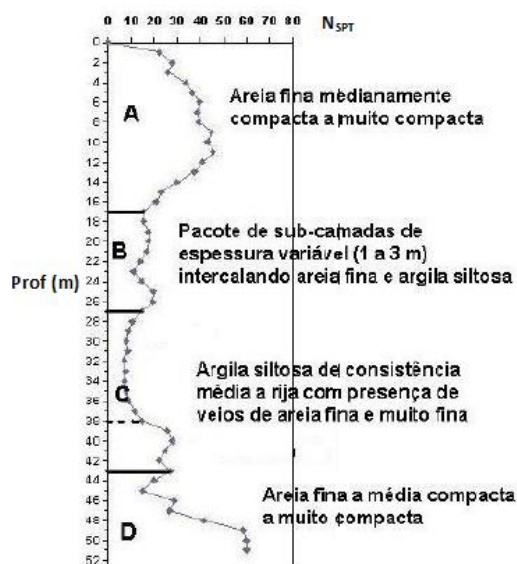


Figura 1. Perfil Representativo do Estaleiro do Rio Grande, com valores médios de N_{SPT} , Dias et al.(2008).

2.2 Caracterização do Banco de Dados

Os dados foram reunidos e verificados, para cada uma das estacas testadas, incluindo: planta de locação da estaca em relação às sondagens mais próximas, perfis das sondagens, relatório da PCE, diagrama de execução, etc. Todos os dados foram verificados quanto à sua qualidade e observância dos ensaios às normas vigentes.

Como as PCE não atingiram a ruptura física, a determinação da capacidade de carga convencional foi realizada por diferentes métodos de extrapolação. Apenas os resultados obtidos da interpretação do método da NBR 6122, ABNT (2010) serão analisados neste artigo. Para a obtenção dos resultados completos, sugere-se a consulta à Silva (2015).

3 ANÁLISE DO BANCO DE DADOS

O seguinte procedimento foi utilizado na análise das 20 PCE da obra em apreço:

- Extrapolação da carga de ruptura das PCE, resultando na função de verossimilhança. Esta função, quando combinada com a função de probabilidade estimada, “a priori”, produz a função a “posteriori”, que é devidamente atualizada pelos resultados de novos ensaios ou de novas informações.
- Estimativa da capacidade de carga “a priori”.
- Atualização da capacidade de carga, valor “a posteriori”.

A determinação da estimativa “a priori” foi realizada com dois enfoques diferentes: na primeira alternativa foi considerado que as 20 PCE tenham sido realizadas após a execução do estaqueamento, ou seja, para fins de avaliação de seu desempenho. Esta foi a situação real, na obra em estudo. Na segunda alternativa, caso hipotético, os ensaios teriam sido realizados por ocasião do projeto geotécnico. Nesta segunda alternativa, embora presentes a incerteza intrínseca da variabilidade do solo, a incerteza devida ao modelo de cálculo de capacidade de carga seria muito reduzida, pela possibilidade de calibração das características intrínsecas do modelo, para utilização no projeto.

A ideia de se proceder a estas duas alternativas de análise “a priori” foi norteadas por duas motivações distintas: a primeira busca contribuir para a prática através da implementação, num caso real bem documentado, das recomendações de Vrouwenvelder (1992): a necessidade de informação estatística em relação aos diversos métodos de cálculo, essencial às análises de confiabilidade. A segunda decorre da polêmica em relação à adoção de fator de segurança inferior a 2 no caso de PCE realizadas na fase de projeto, anteriores à execução. Em relação a esta segunda motivação cabe reportar à extensa discussão de Cintra et al. (2013).

2.1 Função de Verossimilhança

A distribuição estatística da carga de ruptura extrapolada pela NBR 6122 (ABNT, 2010) das estacas ensaiadas, resumida na Figura 2, fornece

os seguintes valores estatísticos: $\mu_{Q,NBR\ 6122}^L = 4232,5\text{ kN}$ e $\sigma_{Q,NBR\ 6122}^{2,L} = (761,2\text{ kN})^2$, que correspondem, respectivamente, à média e variância da função de verossimilhança.

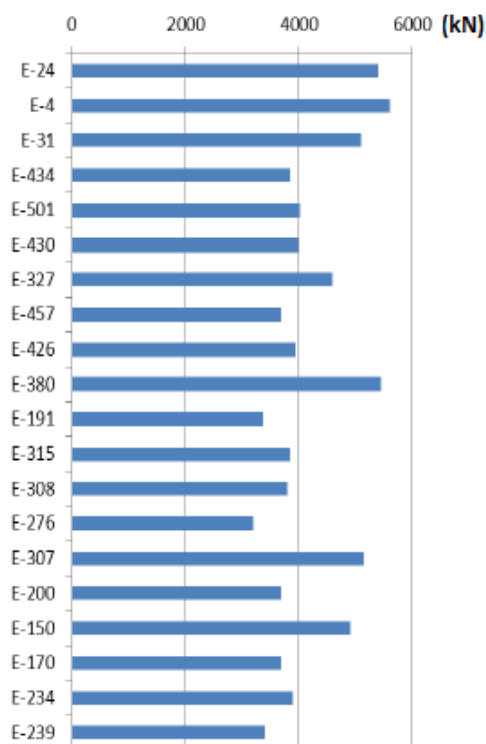


Figura 2. Carga de ruptura extrapolada, NBR 6122 (ABNT, 2010), para cada uma das estacas testadas.

O coeficiente de variação correspondente, relação entre o desvio padrão (raiz quadrada da variância) e o valor médio, é de 0,18.

2.2 Estimativa “a priori”

As duas alternativas serão avaliadas para o modelo de cálculo de Aoki e Velloso (1975), por ser um dos métodos mais utilizados na prática. Os valores de F_1 e F_2 utilizados para estacas do tipo raiz foram de 2,2 e 2,4, respectivamente, de acordo com a contribuição de Monteiro (1997).

2.2.1 Ensaios realizados após a execução do estaqueamento.

A distribuição estatística da carga de ruptura prevista por Aoki e Velloso (1975), resumida na Figura 3, fornece os seguintes valores:

$\mu_{Q,Aoki\ e\ Velloso}^P = 6295,1\text{ kN}$ e $\sigma_{Q,Aoki\ e\ Velloso}^{2,P} = (936,7\text{ kN})^2$, que correspondem, respectivamente, à média e variância da estimativa “a priori”.

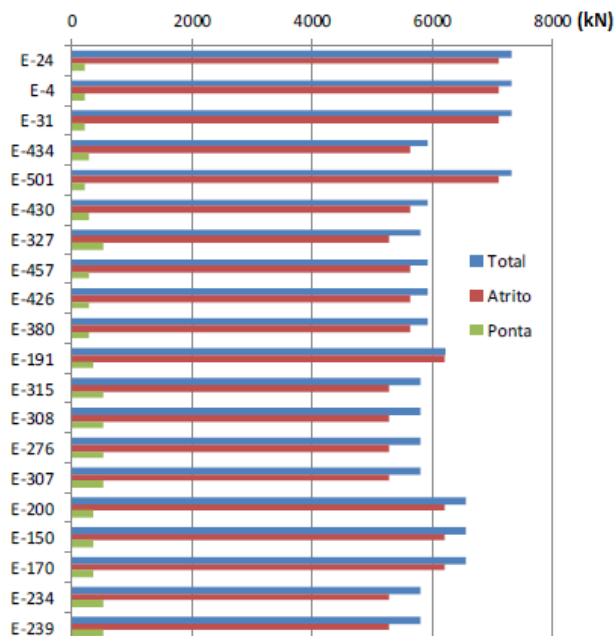


Figura 3. Carga de ruptura estimada “a priori”, enfoque 1, pelo modelo de cálculo de Aoki e Velloso (1975).

O coeficiente de variação correspondente é de 0,10.

A simples comparação entre as Figuras 2 e 3 revela que os valores de F_1 e F_2 , para a estaca raiz nesta região são contra a segurança, indicando valores previstos, a priori, superiores àqueles obtidos durante a avaliação do desempenho, indicadores de menores valores de capacidade de carga.

2.2.2 Estimativa “a priori”, com conhecimento previo dos resultados dos ensaios

A distribuição estatística da carga de ruptura prevista “a priori” por Aoki e Velloso (1975), resumida na Figura 4, após calibração de F_1 e F_2 através da realização prévia das PCE, fornece os seguintes valores: $\mu_{Q,Aoki\ e\ Velloso}^P = 4168,3\text{ kN}$ e $\sigma_{Q,Aoki\ e\ Velloso}^{2,P} = (350,4\text{ kN})^2$, que correspondem, respectivamente, à média e variância da estimativa “a priori”. A calibração de F_1 e F_2 forneceu, respectivamente, os valores de 2,2 e 3,7.

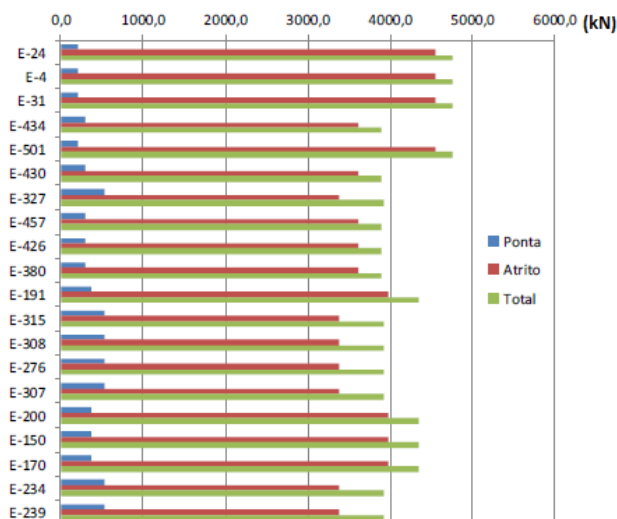


Figura 4. Carga de ruptura estimada “a priori”, pelo modelo de cálculo de Aoki e Velloso (1975), em kN, após calibração de F_1 e F_2 com os ensaios realizados previamente, enfoque 2.

O coeficiente de variação correspondente é de 0,09.

A comparação da Figura 4 com a Figura 2 revela que, uma vez que os ensaios são realizados, hipoteticamente, por ocasião do projeto, a estimativa realizada “a priori” foi capaz de reduzir a incerteza da previsão, uma vez que o valor médio previsto se aproximou bastante do valor médio extrapolado através dos ensaios. Além deste aspecto, o coeficiente de variação da estimativa também apresentou uma redução.

3 ATUALIZAÇÃO DE BAYES

A previsão da capacidade de carga de estacas costuma envolver uma série de incertezas em decorrência das variações espaciais das propriedades do solo, limitações da investigação geotécnica, simplificações nos modelos de cálculo, entre outras. A análise da confiabilidade permite que se mapeie e se avalie as incertezas envolvidas.

A atualização da capacidade de carga com base nas estimativas realizadas no item 2 será procedida através da aplicação dos conceitos da análise Bayesiana, admitindo que os parâmetros da distribuição probabilística utilizada são variáveis randômicas. A incerteza dos parâmetros é modelada por distribuições “a

priori” e “a posteriori”. A distribuição “a posteriori” é calculada pela atualização da distribuição “a priori”, utilizando uma função de máxima verossimilhança, que no caso em estudo, contém a observação obtida dos resultados das PCE.

Esta ferramenta estatística é utilizada neste trabalho para atualizar o valor esperado da capacidade de carga, bem como a variância da distribuição probabilística considerando os dois enfoques distintos de fator de segurança, face à possibilidade de realização das PCE por ocasião do projeto, como uma ferramenta de redução da incerteza do modelo de cálculo e redução do fator de segurança global e parcial. A metodologia é ilustrada na Figura 5, tendo sido utilizada em fundações por Guttormsen (1987).

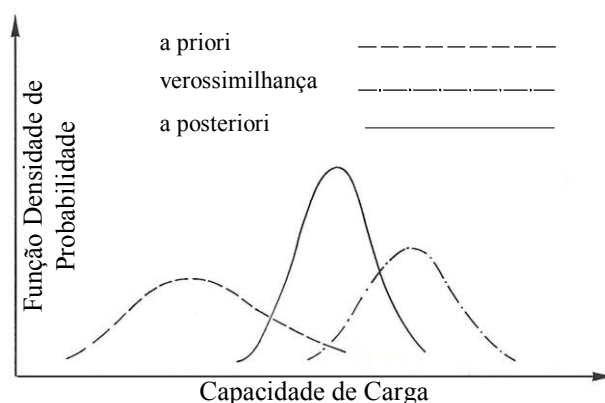


Figura 5. Relação entre as distribuições “a priori”, de verossimilhança e “a posteriori”, Guttormsen (1987), Lacasse e Goulois (1989), Lacasse et al. (1991), Cabral et al. (2012).

A Figura 5 mostra a função densidade de probabilidade da capacidade de carga do solo. O teorema de Bayes permite a obtenção da distribuição “a posteriori” a partir da estimativa da distribuição “a priori” e da distribuição da função de verossimilhança. As equações 2 e 3 possibilitam, assim, o cálculo da estimativa do valor esperado e da variância da capacidade de carga atualizada do solo, “a posteriori”, em função do valor esperado e da variância da estimativa “a priori” e da distribuição probabilística da função de verossimilhança.

$$\mu_Q = \frac{\sigma_Q^{2,L} \cdot \mu_Q^P + \sigma_Q^{2,P} \cdot \mu_Q^L}{\sigma_Q^{2,L} + \sigma_Q^{2,P}} \quad (2)$$

$$\sigma_Q^2 = \frac{\sigma_Q^{2,L} \cdot \sigma_Q^{2,P}}{\sigma_Q^{2,L} + \sigma_Q^{2,P}} \quad (3)$$

Nas equações (2) e (3) μ_Q é o valor esperado da capacidade de carga atualizada, obtida “a posteriori”, enquanto μ_Q^P e μ_Q^L são, respectivamente, o valor esperado previsto (“a priori”) e aquele obtido a partir dos resultados das PCE (função de verossimilhança). O valor de σ_Q^2 designa a variância da distribuição atualizada da capacidade de carga (“a posteriori”) e $\sigma_Q^{2,P}$ e $\sigma_Q^{2,L}$, respectivamente, as variâncias da distribuição prevista pelos ensaios de campo, “a priori”, e a partir dos valores das PCE (pela função de verossimilhança).

A metodologia de atualização de Bayes permite que um julgamento subjetivo, baseado em cálculos realizados “a priori”, sejam combinados com resultados de ensaios (função de verossimilhança), resultando numa estimativa atualizada da capacidade de carga. Este procedimento, segundo Guttormsen (1987), auxilia o engenheiro na organização, avaliação e acúmulo da experiência fornecida pelos ensaios, além de prover elementos para decisões in-situ quanto ao desempenho. Um detalhamento mais extenso da teoria de Bayes pode ser encontrado nos livros de estatística, como Ang e Tang (1984).

4 APLICAÇÃO DA ATUALIZAÇÃO DE BAYES AO BANCO DE DADOS

Neste capítulo a atualização de Bayes é aplicada aos dois enfoques de verificação da segurança: i) pela atualização da capacidade de carga com a estimativa “a priori” considerando a realização das PCE após a execução e ii) pela atualização da capacidade de carga com a estimativa “a priori”, considerando a realização das PCE por ocasião do projeto.

4.1 Estimativa “a posteriori” pelo enfoque 1

A Tabela 2 resume os resultados da capacidade de carga atualizada, pela aplicação das equações (2) e (3), considerando a realização das PCE após a execução do estaqueamento.

Tabela 2. Valores atualizados, “a posteriori”, da capacidade de carga pelo enfoque 1.

Distribuição Estatística	“A priori” (kN), (kN) ²	Verossimilhança (kN), (kN) ²	“A posteriori” (kN), (kN) ²
Valor esperado	6295,1	4232,5	5504,9
Variância	(599,9) ²	(761,2) ²	(471,1) ²
Coef. var. (%)	11	18	9

Cabe observar que a capacidade de carga obtida “a posteriori” está sempre compreendida entre os valores “a priori” e os correspondentes à função de verossimilhança, se aproximando mais do valor que apresente a menor variância.

Quando não se conhece o resultado das PCE durante o projeto, os valores de F_1 e F_2 não podem ser previamente calibrados, o que resulta numa diferença maior entre o valor esperado da estimativa “a priori” e a função de verossimilhança. A capacidade de carga atualizada, embora se aproxime da função de verossimilhança com a aplicação da metodologia de Bayes, ainda apresenta uma maior diferença com a função de verossimilhança, que contempla os resultados dos ensaios.

4.2 Estimativa “a posteriori” pelo enfoque 2

A Tabela 3 resume os resultados da capacidade de carga atualizada considerando a realização das PCE durante a realização do projeto. Cabe observar novamente que a capacidade de carga obtida “a posteriori” está sempre compreendida entre os valores “a priori” e os correspondentes à função de verossimilhança, se aproximando mais do valor que apresenta a menor variância.

Tabela 3. Valores atualizados, “a posteriori”, da capacidade de carga pelo enfoque 2.

Distribuição Estatística	“A priori” (kN), (kN) ²	Verossimilhança (kN), (kN) ²	“A posteriori” (kN), (kN) ²
Valor esperado	4168,3	4232,5	4179,5
Variância	(350,4) ²	(761,2) ²	(318,3) ²
Coef. var. (%)	8	18	8

Quando se conhece o resultado das PCE durante a fase de projeto, os valores de F_1 e F_2 podem ser previamente calibrados, o que resulta numa diferença menor entre o valor esperado “a priori” e a função de verossimilhança. A capacidade de carga atualizada também se aproxima da função de verossimilhança com a

aplicação de Bayes.

5 INTERPRETAÇÃO DA ATUALIZAÇÃO DE BAYES SEGUNDO A NBR 6122

Caso não se leve em consideração a ocorrência de região representativa, os valores da aplicação do enfoque de segurança global e parcial resultariam nas seguintes cargas admissíveis e resistentes de projeto indicadas a seguir.

5.1 Estimativa da Carga Admissível e da Carga Resistente de Projeto “a posteriori” pelo enfoque 1

Uma vez que, neste caso, as PCE foram realizadas após a execução, tem-se:

$$P_{adm} = \frac{\mu_Q}{FS_{GLOBAL}} = \frac{5504,9kN}{2} = 2752,5kN$$
$$P_{resistenteprojeto} = \frac{\mu_Q}{FS_{PARCIAL}} = \frac{5504,9kN}{1,4} = 3932,0kN$$

5.2 Estimativa da Carga Admissível e da Carga Resistente de Projeto “a posteriori” pelo enfoque 2

Uma vez que, neste caso, as PCE foram realizadas por ocasião do projeto, tem-se:

$$P_{adm} = \frac{\mu_Q}{FS_{GLOBAL}} = \frac{4179,5kN}{1,6} = 2612kN$$
$$P_{resistenteprojeto} = \frac{\mu_Q}{FS_{PARCIAL}} = \frac{4179,5kN}{1,14} = 3666,2kN$$

Observa-se, assim, que os enfoques 1 e 2 não apresentaram diferenças significativas, com diferença de cerca de 5% para a carga admissível e de 7% para a carga resistente de projeto, sendo o enfoque 2, no caso em apreço, o mais conservativo.

Há que se destacar, na presente análise, alguns aspectos importantes:

i) As PCE realizadas durante a fase de projeto, enfoque 2, podem ter uma representatividade diferente daquelas realizadas após a execução,

enfoque 1, porque no enfoque 2 as estacas são executadas com a informação prévia de que serão ensaiadas, o que não ocorre no enfoque 1. ii) No caso em pauta, a presença de várias PCE na mesma obra permite a elaboração de um estudo estatístico, o que é muito diferente de situações onde se tem apenas uma PCE.

6 PROVAS DE CARGA ESTÁTICAS INTERPRETADAS PELA NBR 6122 (2010)

Os resultados das PCE são agora interpretados diretamente, sem aplicação do estudo de confiabilidade pela análise bayesiana.

Para tal, se utilizará diretamente a equação (1), da NBR 6122 estabelecida para o caso da capacidade de carga ser determinada por PCEs obtidas na fase de elaboração ou adequação do projeto, quando em uma região representativa for realizado um número maior de PCE. Ressalta-se que esta aplicação é hipotética, uma vez que na obra em estudo as PCE foram executadas para fins de análise do desempenho. As análises anteriores também foram consideradas para a mesma região, que pode ser considerada como representativa, pela definição da norma em que *região representativa* é aquela que apresenta pequena variabilidade de suas características geotécnicas.

Sendo o valor de $(R_{c,cal})_{med}$ a capacidade de carga (valor característico) calculada com base nos valores médios das extrapolações das PCE e $(R_{c,cal})_{min}$ a capacidade de carga (valor característico) calculada com base no valor mínimo extrapolado, chega-se a: $(R_{c,cal})_{med} = 4232,5 \text{ kN}$ e $(R_{c,cal})_{min} = 3200 \text{ kN}$.

Como se tem 20 PCE, hipoteticamente consideradas como realizadas na fase de projeto, os valores de ξ_3 e ξ_4 , fatores de minoração, obtidos da Tabela 1, são ambos unitários, logo, da equação (1) tem-se:

$$R_{c,k} = \text{Min} [(4232,5/1); (3200/1)] = 3200kN$$

Sendo este um valor característico, obtem-se:

$$P_{adm} = \frac{R_{c,k}}{FS_{GLOBAL}} = \frac{3200kN}{1,4} = 2285kN$$

$$P_{\text{resistente projeto}} = \frac{R_{c,k}}{FS_{\text{PARCIAL}}} = \frac{3200 \text{ kN}}{1,0} = 3200 \text{ kN}$$

Estes resultados, ao serem comparados com os valores atualizados pela aplicação da teoria de Bayes, para o enfoque 2, PCE realizadas na fase de projeto, observa-se que:

i) Para o projeto elaborado em termos de carga admissível, 2612 kN (pela atualização de Bayes) e 2285 kN (pelo uso direto das PCE), tem-se uma diferença percentual de 12,5%, sendo mais conservativa a interpretação direta das PCE segundo a NBR 6122 (2010).

ii) Para o projeto elaborado em termos de carga resistente de projeto, 3666,2 kN (atualização de Bayes) e 3200 kN (uso direto das provas de carga), tem-se uma diferença percentual de 12,7%, sendo mais conservativa a interpretação direta das PCE segundo a NBR 6122 (2010).

Observa-se uma mesma diferença percentual em termos de carga admissível e carga resistente de projeto.

7 CONCLUSÕES

O trabalho analisa a confiabilidade de um caso de obra com 20 PCE em estacas do tipo raiz trabalhando fundamentalmente por atrito. Os resultados indicam que, uma vez que o número de PCE possibilite o estabelecimento de uma distribuição estatística, a segurança da norma no caso de se ter as PCE realizadas por ocasião de projeto, ou realizadas para avaliação do desempenho, apresentam valores admissíveis e de projeto equivalentes.

Análises similares para diferentes tipos de estacas, regiões diversas de subsolo e envolvendo outros métodos de cálculo devem ser realizadas para atender a necessidade de informação estatística, essencial às análises de confiabilidade.

8 REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6122 (2010). Projeto e Execução de Fundações, Rio de Janeiro, 91p.

- Ang, A. H. S. e Tang, W. H. (1984). *Probability Concepts in Engineering Planning and Design*. John Wiley & Sons, Inc.
- Aoki, N. e Velloso, D. A. (1975). An Approximate Method to Estimate the Bearing Capacity of Piles. Proc. 5th Pan American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Buenos Aires, vol.1.
- Cabral, E. V.; Danziger, B. R. e Pacheco, M. P. (2012). Confiabilidade de Estacas Cravadas. Estudo de Caso com Aplicação da Teoria Bayesiana. Geotecnia (Lisboa), v. 122, p. 3-29.
- Cintra, J. C. A. ; Aoki N.; Tsuha, C.; Giacheti, H. L. (2013). Fundações: ensaios estáticos e dinâmicos. Oficina de Textos, São Paulo, 114p., São Paulo.
- Dias, C. R. R. (2008). Caracterização do subsolo do Superporto de Rio Grande a partir de novas investigações geotécnicas para obras portuárias. IV Congresso Luso-Brasileiro de Geotecnia, Coimbra, Portugal, p. 375-382.
- Dias, C. R. R. e Bastos, C. A. B. (1994). Propriedades geotécnicas da argila siltosa marinha de Rio Grande/RS: uma interpretação à luz da história geológica recente da região. Cobramseg, Foz do Iguaçu, vol.2, pp. 555-562.
- Dias, C. R. R. e Bastos, C. A. B. (1997). Argila siltosa marinha de Rio Grande/RS. Análise dos dados geotécnicos aplicados à obras portuárias. 6 Cobramseg, Curitiba, p. 53-57.
- Guttormsen, T. R. (1987). Uncertainty in Offshore Geotechnical Engineering. Application of Bayesian Theory to Pile Driving Predictions. *Research Report Societe Nationale Elf Aquitaine*. NGI Report 85307-9.
- Goularte, C. L. (2012). Inventário e análise dos Parâmetros Geotécnicos da Argila Siltosa Profunda da Região Portuária de Rio Grande. Dissertação de Mestrado, UFRG.
- Lacasse, S., Tan, A. H. e Keaveny, J. M. (1991) Expert assistant for updating axial pile capacity from pile driving observations. *Proc. Field Measurements in Geotechnics*. Sorum, Balkema.
- Lacasse, S., Goulois, A. (1989) Reliability analysis of axial pile capacity. *Proc. XII International Conference on SMFE*, Rio de Janeiro, pp. 845-848.
- Monteiro, P. F. (1997) Capacidade de carga de estacas. Método Aoki e Velloso. Relatório Interno Franki.
- Silva, B. L. M. (2015). Contribuição à confiabilidade de estacas tipo raiz através de um estudo de provas de carga estáticas com aplicação da teoria bayesiana. Dissertação de Mestrado, PGECIV/ UERJ.
- Velloso, D. A. E Lopes, F. R. (2010). Fundações, Vol 2. Oficina de Textos.
- Vrouwenvelder, A. (1992). Effects of inspection on the Reliability of Foundation Piles. Application of Stress Wave Theory to Piles, Rotterdam.