

Atrito Lateral de Estaca Hélice Contínua – Instrumentação em Profundidade vs Metodologia Camapum de Carvalho *et al.* (2010)

Carla Therezinha Dalvi Borjaille Alledi
Ifes-Vitória, Vitória, Brasil, borjaille@ifes.edu.br

Carlos Medeiros Silva
Embre, Brasília, Brasil, carlos@embre.com.br

Paulo José Rocha de Albuquerque
Unicamp, Campinas, Brasil, pjra@fec.unicamp.br

RESUMO: Este trabalho apresenta uma análise do domínio do atrito lateral, região onde o atrito lateral governa o comportamento das estacas em termo de capacidade de carga e deformabilidade, estimado pelo Método de Camapum de Carvalho *et al.* (2010). Para validar as análises foram utilizados resultados obtidos por meio de instrumentação em profundidade. Segundo os autores a metodologia tem sido utilizada com sucesso em diferentes tipos de perfis de solo, por exemplo, em análise de provas de carga realizadas em estacas hélice contínua, com comprimento variando entre 15 m e 20m, em perfil de solo profundamente intemperizado, poroso, de natureza colapsável, situado em Brasília-DF e, em estacas hélice contínua de 10m a 15m de comprimento em perfil que apresenta um manto profundamente intemperizado, pouco espesso ou inexistente, recobrindo o solo residual jovem (saprolítico fino, rocha alterada) em Águas Claras – DF. Com o objetivo de contribuir com o banco de dados em outras regiões, este método foi aplicado a uma prova de carga do tipo lenta realizada em uma estaca hélice contínua, com 40cm de diâmetro e 7,7m de comprimento, instrumentada em profundidade com 04 (quatro) níveis de *strain-gages*. O subsolo local constitui-se de solo arenoso entremeado de solo mole, pertencente ao período Quaternário, na região de Vitória-ES. Nos gráficos obtidos com esta metodologia, identificaram-se dois pontos de inflexão referentes à mudança de comportamento da curva carga vs recalque. Como o método ainda não está consolidado na prática, os autores deste trabalho se limitaram a analisar os resultados referentes ao primeiro ponto de inflexão que está bem caracterizado. Com os resultados foi verificado que o valor de atrito lateral ou, o ponto que delimita a região de domínio do atrito da região de domínio da ponta, estimado pela metodologia de Camapum de Carvalho *et al.* (2010) está próximo do valor aferido experimentalmente com a instrumentação em *strain-gages*, apresentando diferença percentual da ordem de 10%. Dessa forma, conclui-se a boa aplicabilidade deste método na análise do domínio da transferência de carga por atrito lateral na região analisada.

PALAVRAS-CHAVE: Estaca Hélice Contínua, Atrito Lateral, Prova de Carga, Instrumentação

1 INTRODUÇÃO

As estacas hélice contínua têm sua utilização crescente nos centros urbanos como fundações e/ou contenções por apresentarem características como rapidez de execução, baixa vibração e ruído. Na Região Metropolitana da

Grande Vitória têm-se utilizado com grande frequência as estacas hélice contínua. O subsolo local, formado por solo sedimentar e residual, apresenta-se muito heterogêneo. Em muitos locais, têm-se um perfil geotécnico sedimentar constituído por camadas de areia, entremeadas por camada de solo argiloso de baixa

resistência.

Em geral, a estaca hélice contínua tem sido utilizada em obras dimensionando-se, predominantemente, por atrito lateral. Para verificar se a transferência de carga da estaca para o solo ocorre por predominância do atrito lateral ou da ponta, há necessidade de se instrumentar a estaca ao longo do seu comprimento. Porém, a instrumentação em profundidade, em geral, tem sido pouco utilizada na prática diária de projetos, ficando restrita a pesquisas. Camapum de Carvalho *et al.* (2008) comentam que os argumentos para a não utilização da instrumentação pode estar no tempo e no custo para montagem dos ensaios. Alledi (2013) afirma, por experiência, que o custo da instrumentação com extensômetros elétricos de resistência tem diminuído nos últimos anos.

Entretanto, a realidade que se apresenta é o surgimento, ao longo desses últimos anos, de alguns métodos para separar a parcela de ponta e a parcela de atrito a partir da curva carga-recalque de uma estaca obtida numa prova de carga convencional, isto é, prova de carga sem que a estaca tenha sido instrumentada em profundidade. Segundo Melo *et al.* (2012), a Engenharia Geotécnica tem buscado, incessantemente, desenvolver metodologias que possam separar as cargas de ponta e lateral de uma prova de carga estática sem que necessite utilizar o recurso da instrumentação. Dentre as metodologias cita-se a metodologia Camapum de Carvalho *et al.* (2008, 2010, 2012).

Este trabalho apresenta uma análise do atrito lateral estimado pelo Método de Camapum de Carvalho *et al.* (2010, 2012) com o resultado de atrito lateral obtido com a instrumentação em profundidade em uma estaca hélice contínua de 40cm de diâmetro e 7,70m de comprimento executada em solo sedimentar do Período Quaternário.

2 DESCRIÇÃO DO PERFIL GEOTÉCNICO E DA ESTACA

2.1 Perfil Geotécnico

A investigação do subsolo foi com base em sondagem de simples reconhecimento tipo SPT

com medida de torque, representando a sondagem SPT-T, executadas de acordo com recomendações de Peixoto e Carvalho (2002). A sondagem foi locada ao redor da estaca teste, respeitando o raio de dez vezes o diâmetro conforme prescrição da ABNT-NBR 12131:1992 (em vigor à época do ensaio).

A área experimental estava situada num canteiro de obras de um edifício em construção no bairro Mata da Praia, localizada na orla da porção continental no município de Vitória-ES. O perfil geotécnico do local é formado, basicamente, por solos sedimentares do Período Quaternário. Castello e Polido (1988) mostram por meio de perfis geotécnicos típicos evidências geológicas desses solos e comentam que a ocorrência de camadas alternadas de areias e argilas num mesmo local denota alternância de ambientes de águas paradas (lagunas ou águas profundas) e águas mais ou menos turbulentas (praias e rios/canais). A Figura 1 apresenta o perfil geotécnico do local juntamente com o posicionamento da instrumentação ao longo do fuste da estaca. Nessa região, encontra-se o nível d'água (NA) a uma profundidade em torno de 2m.

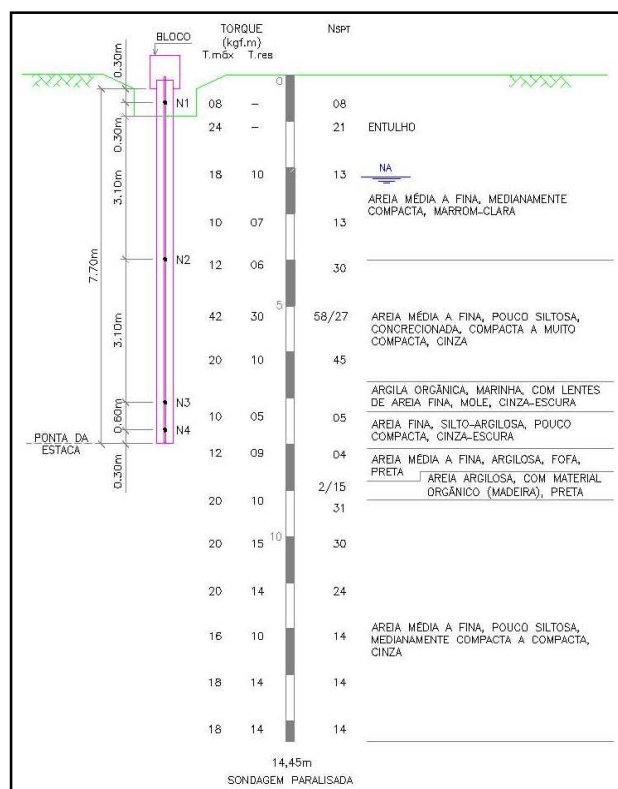


Figura 1. Perfil geotécnico e posicionamento da instrumentação na estaca teste

2.2 Estaca Teste

A estaca teste do tipo hélice contínua, com 40cm de diâmetro e 7,70m de comprimento estava apoiada em solo de baixa resistência conforme apresentado na Figura 1. No interior da estaca teste foram introduzidas armaduras longitudinais e um tubo de aço galvanizado. As armaduras longitudinais, constituídas de 4Ø16mm (CA-50) com 4,0m de comprimento e estribos circulares Ø6.3mm (CA-50) a cada 20cm, foram introduzidas manualmente, após execução da estaca. O tubo de aço galvanizado, $\phi_{int} = 42,3\text{mm}$ e espessura 3mm, foi introduzido no centro da estaca durante sua execução, pelo eixo do trado, antes do lançamento do concreto, conforme procedimento recomendado em Albuquerque (2001). No interior do tubo galvanizado foi introduzida uma barra de ferro instrumentada em quatro níveis conforme apresentado na Figura 1. Em cada nível da instrumentação foram colados dois *strain-gages* diametralmente opostos e ligados em ponte completa. Maiores detalhes sobre a instrumentação em profundidade desta estaca podem ser obtidos em Albuquerque *et al* (2007) e Alledi (2013).

3 PROVA DE CARGA

A prova de carga à compressão, do tipo lenta, seguiu as prescrições da Norma Brasileira ABNT NBR 12131:1992. Para a execução da prova de carga, foi montado um sistema que é composto de um macaco hidráulico, acionado por bomba elétrica, atuando contra um sistema de reação estável constituído de um conjunto de quatro tirantes, engastados em quatro EHCs. O sistema macaco hidráulico-bomba-manômetro foi calibrado e certificado. As cargas aplicadas no topo do bloco de coroamento das estacas foram medidas com uma célula de carga com capacidade para 3000kN, instalada entre o macaco e a viga de reação. Maiores detalhes sobre preparação, equipamentos e descrição das provas de carga podem ser obtidos em Borjaille Alledi, Polido e Albuquerque (2006).

4 METODOLOGIA CAMAPUM DE CARVALHO *et al.* (2010)

A metodologia proposta por Camapum de Carvalho *et.al.* (2008, 2010, 2012) consiste em análises complementares à curva carga-recalque, levando-se em conta o comportamento característico de cada solo e os mecanismos de interação entre a estrutura de fundação e o solo suporte.

Segundo Camapum de Carvalho *et al.* (2010), esse método tem sido utilizado em análise de grande número de provas de carga realizadas em estacas hélice contínua com comprimento variando entre 15m e 20m e diâmetros de 40cm a 60cm, em perfil de solo profundamente intemperizado, poroso, de natureza colapsível, situado em Brasília-DF. Os autores comentam, ainda, que o método tem sido aplicado também em uma menor quantidade de provas de carga em EHC de 10m a 15m em perfil que apresenta um manto profundamente intemperizado pouco espesso ou inexistente, recobrindo o solo residual jovem (saprolítico fino, rocha alterada) em obras situadas em águas Claras – DF.

Os autores alertam que a metodologia não tem por objetivo definir capacidades de carga a partir dos resultados de provas de carga, mas interpretá-las e, auxiliar o projetista e o executor na tomada de decisões.

No método, trabalha-se com três gráficos:

a) *Gráfico carga-coeficiente de deslocamento*: Este gráfico é traçado com os valores de cargas plotados nas abscissas e do coeficiente de deslocamento (α) nas ordenadas. O valor de α representa o coeficiente angular das curvas recalque vs tempo obtido para cada carregamento na prova de carga.

Neste gráfico o primeiro ponto de inflexão (encontro do primeiro com o segundo trecho) corresponde ao fim do regime pseudoelástico, do sistema fuste-solo (atrato) e início de trabalho do conjunto do fuste+base da fundação. O segundo ponto de inflexão (encontro do segundo com o terceiro trecho) corresponde ao início das deformações plásticas do solo suporte na ponta da estaca.

b) *Gráfico carga-recalque imediato acumulado*: Este gráfico é traçado com os valores de cargas plotados nas abscissas e de recalques imediatos acumulados nas ordenadas. Assim, define-se trechos de retas semelhantes aos do gráfico carga-coeficiente de deslocamento. No método, considera-se recalque imediato aquele ocorrido até 4min após a aplicação da carga em cada estágio do carregamento.

c) *Gráfico carga-recalque secundário (e/ou por adensamento) acumulado*:

Com os valores de cargas plotados nas abscissas e de recalques secundários acumulados nas ordenadas, gera-se um gráfico semelhante aos descritos anteriormente. No método, considera-se recalque por adensamento e/ou secundário aquele que ocorre após o tempo de 4min da aplicação da carga (diferença entre o recalque total e o recalque de 4min), em cada estágio do carregamento. A análise com o recalque por adensamento e/ou secundário deve ser elaborada considerando-se o recalque até o tempo final de estabilização.

Os três gráficos tendem a apresentar comportamentos semelhantes, colocando em evidência três segmentos de reta.

A interpretação dos trechos definidos nos gráficos citados é apresentada melhor por Camapum de Carvalho *et al.* (2012), conforme segue:

O primeiro trecho corresponde à atuação progressiva e predominante do fuste podendo, eventualmente iniciar-se a mobilização da base logo após os primeiros estágios de carga, dependendo de fatores, como rigidez do maciço, rigidez do elemento estrutural, retração do concreto durante a cura, retração do solo por diminuição da umidade em maciços não saturados, dentre outros. No entanto, neste primeiro momento, atuando com a base, a contribuição desta se dá geralmente de forma secundária no comportamento da estaca ensaiada, mas, em casos de solos moles, o comportamento da base torna-se relevante já nesta fase inicial.

O segundo trecho corresponde ao estágio no qual a atuação da base passa a ser mais efetiva e comanda o comportamento do elemento de fundação em termos de carga vs recalque. Nele, a medida em que ocorre a saturação em termos

de energia máxima mobilizável por atrito lateral, a carga passa a ser transferida para a base da fundação.

Os autores esclarecem que o terceiro trecho do gráfico tem início quando deformações plásticas passam a ser preponderantes no comportamento do sistema maciço-estrutura e passam a comandar o comportamento das fundações. A partir desse ponto, os deslocamentos passam a ser mais relevantes, gerando a expectativa de recalques permanentes significativos e importantes para o bom desempenho da fundação e, conseqüentemente, da edificação, porém não significando, necessariamente, ruptura. Os autores da metodologia alertam que trabalhar além desse limite requer maior atenção com os recalques admissíveis pela estrutura, principalmente com os recalques diferenciais presentes em qualquer edificação.

Porém, algumas vezes não é possível utilizar a interpretação dos três gráficos citados, principalmente quando, durante a realização da prova de carga, ocorre mudança de incremento de carga antes de se obter o percentual recomendado em norma. Silva (2011) salienta que mobilizações por atrito, ponta e deformações plásticas podem ocorrer simultaneamente nos três domínios, entretanto o comportamento da estaca e, conseqüentemente, da curva carga-recalque comandado pelo atrito, pela ponta ou pela plastificação depende do domínio em que se encontra o carregamento.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Curva Carga-Recalque

A ponta da estaca teste foi apoiada em solo de baixa resistência ($N_{SPT}=4$), conforme Figura 1, com o objetivo de se conseguir obter a ruptura do sistema solo-estaca com o sistema de reação projetado. A Figura 2 mostra a curva carga-recalque obtida com a prova de carga lenta. Essa curva apresenta comportamento linear até a carga aproximada de 600kN. A prova de carga nesta estaca foi interrompida com uma carga máxima de 720kN caracterizando ruptura. Na carga máxima, foi obtido um deslocamento total

de 10,5% do diâmetro da estaca, ou seja, 41,99mm. Os recalques residual e elástico obtidos foram de 40,02mm e 1,97mm, respectivamente.

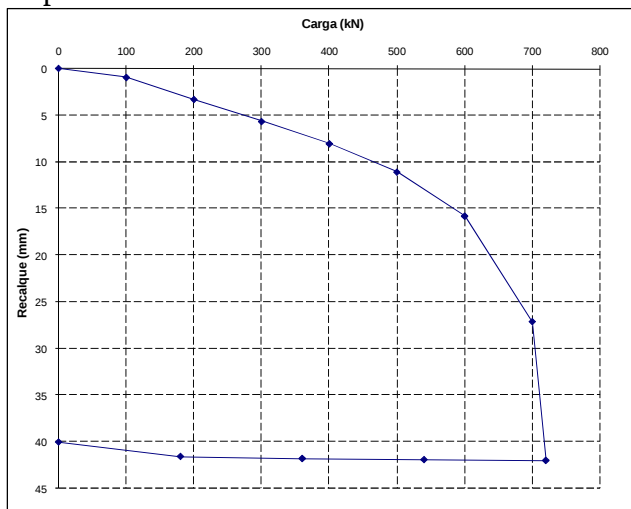


Figura 2. Curva carga-recalque

5.2 Aplicação da Metodologia Camapum de Carvalho *et al.* (2010)

Nos gráficos obtidos com esta metodologia, identificam-se dois pontos de inflexão referentes à mudança de comportamento da curva carga-recalque. Esses pontos de inflexão colocam em evidência três segmentos de reta. O ponto de encontro do primeiro com o segundo trecho de reta define a carga de início do domínio da ponta, com a saturação do atrito. Silva (2011) alerta que a ponta da estaca começa a ser mobilizada antes do primeiro ponto de inflexão, entretanto sua contribuição passa a ser preponderante a partir desse ponto. Já o ponto de encontro do segundo com o terceiro trecho de reta identifica a carga de início das deformações plásticas importantes. Como os autores da metodologia não definem valores absolutos ou relativos para quantificar essas deformações plásticas e, como o método ainda não está consolidado na prática, os autores deste trabalho se limitarão a analisar os resultados referentes ao primeiro ponto de inflexão que está bem caracterizado. As Figuras 3, 4 e 5 mostram os gráficos gerados com esse método para estaca teste apresentada.

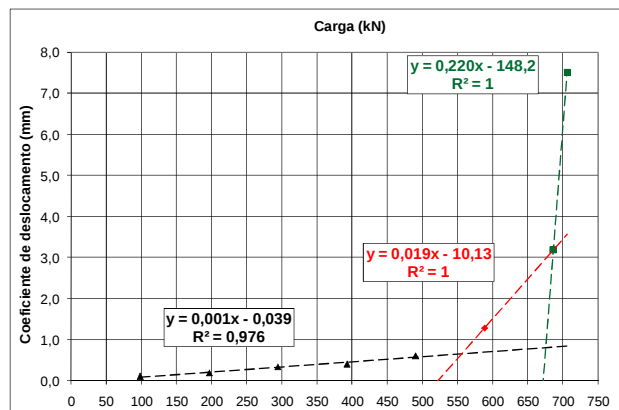


Figura 3. Curva carga vs coeficiente de deslocamento da estaca teste

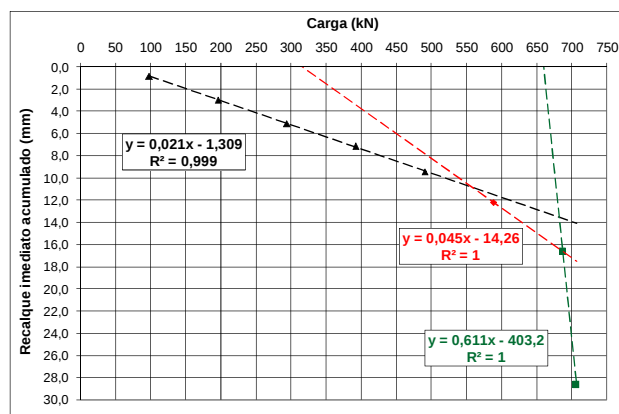


Figura 4. Curva carga vs recalque imediato acumulado da estaca teste

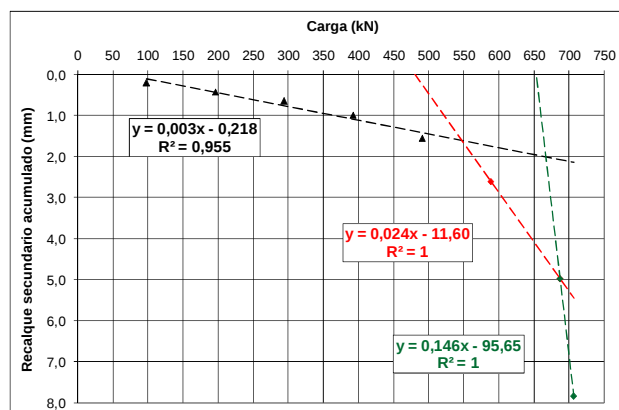


Figura 5. Curva carga vs recalque secundário acumulado da estaca teste

Apresentam-se na Tabela 1 os valores de cargas obtidas nos pontos de inflexão dos gráficos traçados com a metodologia e mostrados nas Figuras 3, 4 e 5.

Tabela 1. Cargas obtidas nos gráficos da Metodologia Camapum de Carvalho *et al.* (2010)

Cargas (kN)					
Gráfico coeficiente de deslocamento		Gráfico recalque imediato acumulado		Gráfico recalque secundário acumulado	
1º ponto inflexão	2º ponto inflexão	1º ponto inflexão	2º ponto inflexão	1º ponto inflexão	2º ponto inflexão
555	687	562	680	550	687

Na Tabela 2, apresenta-se a média da carga obtida no 1º ponto de inflexão mostrado nos três gráficos da metodologia e o valor de atrito lateral obtido experimentalmente. Para o cálculo deste último valor, foi considerada a carga de ruptura e o percentual de atrito obtido com a análise da instrumentação em profundidade com *strain-gages*, na carga máxima da prova de carga. Maiores detalhes dos percentuais de ponta e atrito em cada nível instrumentado, para cada carga aplicada no topo, podem ser obtidos em Alledi (2013). O objetivo é comparar o resultado do atrito lateral (média das cargas, obtida nos três gráficos, referente ao primeiro ponto de inflexão) estimado pelo Método de Camapum de Carvalho *et al.* (2010) com aquele definido com base na instrumentação.

Tabela 2. Carga de atrito lateral obtida com a instrumentação da PC e estimada pela Metodologia Camapum de Carvalho *et al.*

Prova de carga (kN)	Média 1º ponto de inflexão (Camapum de Carvalho <i>et al.</i>) (kN)
612	556

Observa-se na Tabela 2 que o valor estimado pelo método difere do aferido no campo. Para a estaca analisada o método Camapum de Carvalho *et al.* (2010) subestima o valor de atrito lateral na ruptura em torno de 10%.

6 CONCLUSÕES

Das análises efetuadas pode-se concluir:

- A instrumentação em profundidade executada com *strain-gages* em quatro níveis funcionou de forma satisfatória.
- Para a estaca analisada o método Camapum de Carvalho *et al.* (2010) subestima o valor de atrito lateral na ruptura da ordem de 10%.

- A metodologia de Camapum de Carvalho *et al.* (2010) apresenta resultado satisfatório para indicar a parcela de atrito lateral em provas de carga convencionais, na região analisada.

- O banco de dados de análise da Metodologia Camapum de Carvalho *et al.* (2010) está se ampliando com a aplicação do método em estaca hélice de 40cm de diâmetro e 7,70m de comprimento executada em solo arenoso entremeado de solo mole, pertencente ao período Quaternário na região de Vitória-ES.

As conclusões descritas deverão ser utilizadas com cautela, uma vez que foram obtidas por meio da análise de apenas uma prova de carga, com carregamento lento e à compressão, em estaca instrumentada em profundidade, executada em solo arenoso entremeado de solo mole, pertencente ao período Quaternário, na região de Vitória-ES.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio das empresas DACAZA Engenharia, CONCREVIT–Concreto Vitória Ltda, STAN-Fundações e Construções Cíveis, GEOCONSULT – Consultoria de Solos e Fundações Ltda e da Instituição Unicamp pelo incentivo na realização da prova de carga deste trabalho. E, ao Instituto Federal do Espírito Santo–Ifes pela liberação da primeira autora para que pudesse concluir seus estudos de Doutorado.

REFERÊNCIAS

- Albuquerque, P. J. R.; Carvalho, D.; Borjaille Alledi. C.T.D.; Polido, U.F. (2007) *Behavior of instrumented continuous flight auger piles in sedimentary and residual Soils*. In: PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING, 13., 2007, Isla Margarita. Proceedings...Caracas: Venezuelan Geotechnical Society, 2007. 1CD-ROM.6p.
- Albuquerque, P.J.R. (2001) *Estacas escavadas, hélice contínua e ômega: estudo do comportamento à compressão em solo residual de diabásio, através de provas de cargas instrumentadas em profundidade*. 2001. 263 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

- Alledi. C.T.D.B. (2004) *Comportamento à compressão de estacas hélice contínua, instrumentadas, em solos sedimentares*. 2004. 228 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- Alledi., C.T.D.B. (2013) *Transferência de carga de estacas hélice contínua instrumentadas em profundidade*. 2013. 293 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1992). NBR 12131. *Estacas- Prova de carga estática:método de ensaio*.Rio de Janeiro,8p.
- Borjaille Alledi. C.T.D., Polido, U.F., Albuquerque, P.J.R. (2006) *Provas de carga em estacas hélice contínua monitoradas em solos sedimentares*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA (COBRAMSEG), 13., 2006, Curitiba-PR. Anais...Curitiba: ABMS, 2006. v. 2, p.1067-1072.
- Camapum de Carvalho, J.; Silva, C.M.; Paolucci, H.V.N.; González, Y.V.; Valencia, L.A.L. (2008). *Considerações sobre a análise dos resultados de provas de carga estáticas*. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA (SEFE),6., 2008, São Paulo.Anais... São Paulo: ABMS, 2008. v.1, p. 355-369.
- Camapum de Carvalho, J.; Silva, C.M.; Aquino, F.R.; Aguiar, L. A.; Mota, N.M.B.; Albuquerque, P.J.R. (2010). *Análises dos resultados de provas de carga estáticas sobre fundações profundas*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA (COBRAMSEG), 15., 2010, Gramado. Anais... Gramado, 2010. 1 CD-ROM. 8 p.
- Camapum de Carvalho, J.; Aquino, F.R.; Silva, C.M.; Paolucci, H.V.N. (2012) *Análise de provas de carga estáticas no contexto do projeto e da obra*.In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA (SEFE),7., 2012, São Paulo.Anais...São Paulo, 2012. 1 CD-ROM. 10 p.
- Castello, R. R.; Polido, U. F. (1988) *Tentativa de sistematização geotécnica dos solos quaternários de Vitória-ES*. In: SIMPÓSIO SOBRE DEPÓSITOS QUATERNÁRIOS DAS BAIXADAS LITORÂNEAS BRASILEIRAS E EXPERIÊNCIAS DE OBRAS, 1988, Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro. 1988. v. 2, p. 3.1- 3.23.
- Melo,B.N.; Albuquerque, P.J.R.; Décourt, L.; Carvalho, D. (2012). *Análise do atrito lateral em estacas hélice contínua instrumentadas por meio do conceito de Rigidez*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA (COBRAMSEG), 16, 2012, Porto de Galinhas. **Anais...** Porto de Galinhas-PE, 2012. 1 CD-ROM. 8 p.
- Peixoto, A. S. P.; Carvalho, D. (2002) *Proposta para padronização da medida do torque no ensaio SPT*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA (COBRAMSEG), 12, 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2002. v. 1. p. 147-154.
- Silva, C.M. (2011) *Energia e confiabilidade aplicadas aos estaqueamentos tipo hélice contínua*. 2011. 303 f. Tese (Doutorado), Publicação G.TD - 070/11, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2011.