



ENSAIO DE INTEGRIDADE DE ESTACAS POR PERFILAGEM TÉRMICA - TIP

Gustavo Tristão

Concremat Engenharia e Tecnologia S.A

Felipe Vianna

Concremat Engenharia e Tecnologia S.A

Alexandre Cerqueira

Concremat Engenharia e Tecnologia S.A

Gina Beim

Pile Dynamics, Inc.

Gray Mullins

Foundation and Geotechnical
Engineering

1. INTRODUÇÃO

Este artigo introduz os ensaios de integridade em estacas moldadas *in loco* (também chamadas de estacas escavadas e estacões) pelo método de Perfilagem Térmica, e apresenta um exemplo de sua primeira aplicação no Brasil. O método de Perfilagem Térmica, ou TIP, do inglês *Thermal Integrity Profiling*, permite avaliar o formato destas estacas, e a existência de anomalias nas mesmas, com base em medidas de temperatura tomadas durante o processo de cura do concreto. As estacas moldadas *in loco* são frequentemente projetadas para resistir a grandes cargas de projeto. No entanto, os métodos de execução deste tipo de estaca não se prestam a um monitoramento perfeito do processo construtivo, resultando em certa probabilidade de defeitos acidentais. Em razão disso, a avaliação da integridade das estacas escavadas de grande diâmetro é de extrema importância. Existem vários métodos pelos quais essa avaliação

é conduzida, porém nenhum é por si só suficiente para avaliar a totalidade do elemento de fundação. A realização conjunta de múltiplos ensaios em uma só estaca seria uma solução, mas na prática não é um procedimento viável do ponto de vista econômico. Essas considerações levaram à exploração de um ensaio que pudesse fornecer um quadro mais completo da qualidade da fundação: a perfilagem térmica.

2. MÉTODOS ATUAIS DE ENSAIOS DE INTEGRIDADE

Entre os métodos de ensaios de integridade de estacas de concreto moldadas *in loco* pode-se citar o Ensaio de Integridade de Baixa Deformação (também conhecido como Ensaio PIT), o Ensaio "Cross Hole" (CSL) e o Ensaio Gama-Gama (GGL). Cada um desses métodos possui pontos fortes, mas também limitações (Mullins et al, 2012).

Os ensaios PIT são capazes de avaliar a seção transversal em sua totalidade, mas a profundidade do fuste pode prejudicar sua interpretação. Além disso, no caso de defeitos múltiplos, o ensaio PIT frequentemente detecta somente aquele situado mais perto da superfície. Ao contrário do ensaio PIT, os ensaios CSL e GGL não são limitados pela profundidade do fuste e podem detectar múltiplos defeitos, mas ambos apresentam limitações quanto à parte da área da seção transversal que podem examinar.

O ensaio *Cross Hole* requer que tubos de acesso sejam instalados na estaca, geralmente amarrados à armadura, e se baseia no tempo de trajeto de pulsos sônicos entre um tubo de acesso

e outro (*i.e.*, na velocidade da onda no concreto). Velocidades de onda inferiores ao valor esperado indicam a suspeita de um concreto de resistência insuficiente, ou de vazios. Vários Departamentos de Estradas de Rodagem americanos aceitam ou rejeitam estacas moldadas *in loco* com base na velocidade de onda verificada pelo ensaio CSL. No entanto, esse ensaio permite avaliar a qualidade do concreto somente na região entre os tubos, ou seja, na região interior à armadura. A contribuição do concreto desta parte central à resistência aos esforços dos momentos fletores é insignificante, quando comparada à contribuição do concreto da parte externa. O concreto que forma o vínculo entre a armadura e o solo é de extrema importância tanto do ponto de vista geotécnico como estrutural.

O ensaio Gama-Gama, que também requer tubos de acesso, utiliza medições de raios gama para avaliar a densidade do concreto na região circunvizinha ao tubo de acesso, restringindo-se a um raio de 76 a 114 mm do centro do tubo (Caltrans, 2005 e 2010). As estacas moldadas *in loco* são aceitas ou rejeitadas com base na distribuição estatística das medições obtidas em cada uma (quanto maior o desvio padrão, maior a chance de rejeição). Este ensaio permite avaliar parte da região exterior à armadura, mas não a sua totalidade.

3. PERFILAGEM TÉRMICA DE INTEGRIDADE

3.1 Considerações Teóricas

A compreensão do processo de geração de calor durante a cura do concreto permite prever a distribui-

ção teórica das temperaturas no interior das estacas moldadas *in loco* com base em princípios físicos, químicos e moleculares relativos à geração de calor e sua difusão no solo e ao perfil de temperatura característico de uma estaca corretamente instalada (Mullins e Ashmawy, 2005; Mullins e Kranc, 2007). Durante as fases iniciais do processo de cura do concreto, a geração de calor tende a determinar a temperatura resultante, enquanto nas etapas subsequentes o processo de dissipação de calor se torna mais importante.

A quantidade de calor produzida, bem como a taxa de produção do calor, são diretamente relacionadas à composição do concreto e à constituição química do cimento e de seus aditivos (escória e cinzas volantes). Mullins (2010) discute como cada um desses materiais produz calor durante sua hidratação, e como suas porcentagens, as quais normalmente podem ser obtidas do fornecedor de concreto, influenciam a produção de calor resultante.

O processo de difusão do calor no meio ambiente é de importância tão significativa quanto o processo de produção de calor. O fluxo de calor nos solos envolve mecanismos concomitantes de condutividade, de convecção e de irradiação, sendo a condutividade o processo predominante. A condutividade térmica nos solos é um fenômeno semelhante à condutividade elétrica, sendo função da densidade do solo. Já a capacidade térmica do solo – seu calor específico – é função das porcentagens de partículas de solo, água e ar. Quanto mais denso for o material, melhor ele conduzirá calor, porém maior será a energia necessária para aquecê-lo. É possível estimar a distribuição da temperatura teórica no interior de uma estaca de concreto moldada *in loco* a partir das considerações acima e do tipo de solo (conteúdo mineralógico e densidade) revelado pelas sondagens (Pauly, 2010). A variação da temperatura teórica em

função do tempo, por sua vez, pode ser estimada com base nas teorias termodinâmicas de produção e de dissipação de calor.

De modo geral, a insuficiência de concreto numa certa região (por exemplo, bolhas, estrangulamento do fuste) faz com que aquela região apresente-se relativamente fria; a ocorrência de concreto em excesso (protuberância) resulta em temperaturas relativamente altas. As anomalias do concreto, tanto no interior como no exterior da armadura, afetam a temperatura não só na região do defeito, mas em toda a seção transversal, embora o efeito se torne progressivamente menor ao se medir a temperatura em pontos mais afastados do defeito (Mullins et al, 2012b). Em condições perfeitas, a distribuição da temperatura interna ao longo da seção transversal de um fuste de formato cilíndrico é aproximadamente normal (Figura 1).

A magnitude do pico de temperatura depende da composição do concreto, do diâmetro da estaca, das propriedades térmicas do solo e do tempo de hidratação. No entanto, cada instante de tempo durante o período de hidratação corresponde a um perfil térmico distinto

para as condições vigentes. A magnitude do pico de temperatura depende da composição do concreto, do diâmetro da estaca, das propriedades térmicas do solo e do tempo de hidratação. No entanto, cada instante de tempo durante o período de hidratação corresponde a um perfil térmico distinto para as condições vigentes. Embora a magnitude da temperatura varie com o tempo, as características do perfil (o formato da curva) são constantes.

3.2 Execução do Ensaio

A perfilagem térmica de integridade utiliza temperaturas medidas durante o processo de cura de concreto. Estas temperaturas podem ser obtidas por dois métodos distintos.

Em uma das modalidades do ensaio de perfilagem térmica, uma sonda (Figura 2) contendo quatro sensores térmicos (termopares infravermelhos direcionados horizontalmente e orientados a 0, 90, 180 e 270 graus) é inserida em tubos de acesso (como os instalados para os ensaios CSL, porém secos). Esse processo permite medir as temperaturas na parede do tubo de acesso em quatro direções, e ao longo de todo o comprimento do fuste.

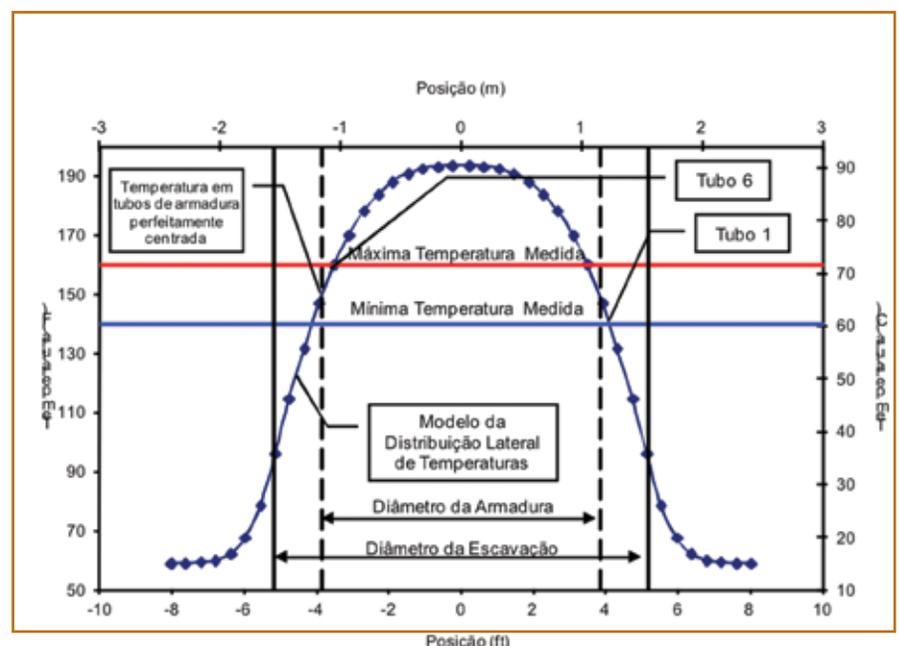


Figura 1: Distribuição teórica da temperatura ao longo da seção transversal de uma estaca com 3,3 m de diâmetro (1 ft = 0,3m e 50o F = 10o C)

O processo é repetido para cada um dos tubos de acesso. Os dados são coletados em tempo real e baixados em um computador para análise.

Em uma segunda modalidade de ensaio os tubos de acesso não são necessários. Uma fiação contendo sensores térmicos digitais e descartáveis (Cotton et al, 2010) é acoplada à armadura (Figura 3). Nesta segunda modalidade, a aquisição de dados é feita automaticamente durante o período de cura, iniciando-se logo após a concretagem. Os dados coletados podem ser baixados em um quando for conveniente.

4. RESULTADOS DA PERFILAGEM TÉRMICA

4.1 Avaliação do Alinhamento da Armadura

A variação da temperatura medida em cada um dos tubos de acesso (ou em cada ponto da armadura, quando a fiação térmica é utilizada) é afetada tanto pela excentricidade da armadura como pelo recobrimento de concreto (diâme-



Figura 2: Sonda térmica

tro efetivo). Com base na distribuição teórica ilustrada na Figura 1, para uma armadura perfeitamente centralizada, a temperatura em todos os pontos de medida (pontos estes sempre localizados na armadura) deverá ser idêntica. Uma armadura ligeiramente excêntrica, mais próxima a uma das paredes da escavação, exibirá temperaturas mais baixas nos tubos (ou fiações térmicas) próximos à interface com o solo, e temperaturas mais altas nos tubos ou fiações mais próximas ao centro da estaca. Há várias razões pelas quais as armaduras se desviam do alinhamento central, incluindo escavação excessiva, falta ou quebra de espaçadores e desalinhamento da gaiola de armadura. Por esse motivo, uma estaca moldada *in loco*, mesmo que perfeitamente cilíndrica, pode exibir temperaturas não uniformes nos pontos de medição. A comparação entre a temperatura mais alta e a mais baixa – diametralmente opostas – com a temperatura média a uma dada profundidade torna possível diferenciar a falta de alinhamento da gaiola de uma variação de seção transversal. Além disso, é possível se determinar a magnitude da falta de alinhamento, bem como o cobrimento de concreto, utilizando-se a parte linear da curva de temperatura teórica e as temperaturas medidas em campo.

4.2 Avaliação do Formato do Fuste

Os relatórios de controle da concretagem são mecanismos-chave para a identificação de condições atípicas. A

comparação da variação do nível do concreto no poço de escavação com o volume de concreto lançado por cada caminhão betoneira constitui o nível mais básico de inspeção. O cálculo do diâmetro efetivo é comparado com o diâmetro de projeto, resultando em uma estimativa básica do perfil do fuste. Nos Estados Unidos essa informação é frequentemente utilizada na decisão de se realizarem ensaios de integridade. No entanto, para estacas pequenas nas quais apenas um ou dois caminhões betoneiras são utilizados, não é possível se obter uma boa visualização do formato do fuste.

Como a distribuição de temperatura na região próxima à armadura é praticamente linear, a temperatura média medida pelo método de perfilagem térmica em um dado tubo de acesso ou em um elemento de fiação térmica plotada ao longo da profundidade pode ser usada para representar o formato do fuste. Essa visualização do formato do fuste pode, assim, ser obtida independente do número de caminhões betoneiras. O alinhamento da gaiola de armadura ao longo do fuste pode ser avaliado comparando-se as temperaturas medidas em tubos de acesso diametralmente opostos e observando-se a diferença entre as várias medidas e a média dentre as mesmas.

5. CASO DE OBRA – VILA DOS ATLETAS PARA OS JOGOS OLÍMPICOS 2016

O primeiro ensaio de perfilagem térmica (TIP) no Brasil foi realizado em uma estaca escavada de diâmetro 1,10 m e 39,0 metros de comprimento, como parte das fundações da Vila dos Atletas, empreendimento para os Jogos Olímpicos de 2016 no Rio de Janeiro.

A instrumentação foi incorporada junto à armação da estaca por meio de quatro fios térmicos (Fig. 4). A estaca foi totalmente armada ao longo do seu comprimento, sendo a armadura dividida em três gaiolas (11 m + 11 m + 18 m). A instrumentação foi fixada na primeira gaiola ainda no solo (Fig. 5) e foi estimado um comprimento restante de espera dos fios térmicos para instrumentar a segunda gaiola de 11 metros, assim que a mesma fosse clipada a primeira armadura (Fig. 6).

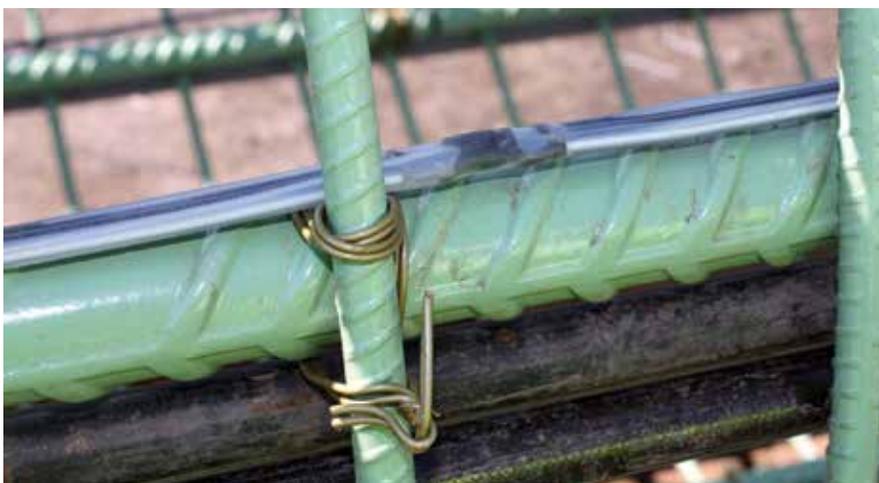


Figura 3: Fiação térmica acoplada à armadura



Figura 4: Fios térmicos posicionados na armadura



Figura 5: Fixação da instrumentação na armadura



Figura 6: Clipagem das armaduras instrumentadas



Figura 7: Fixação dos coletores (TAP) para registro

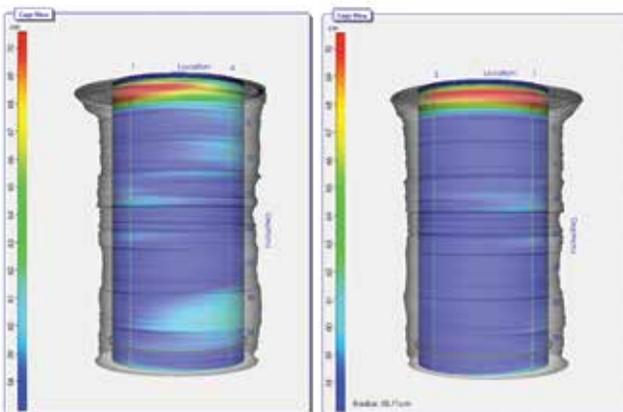
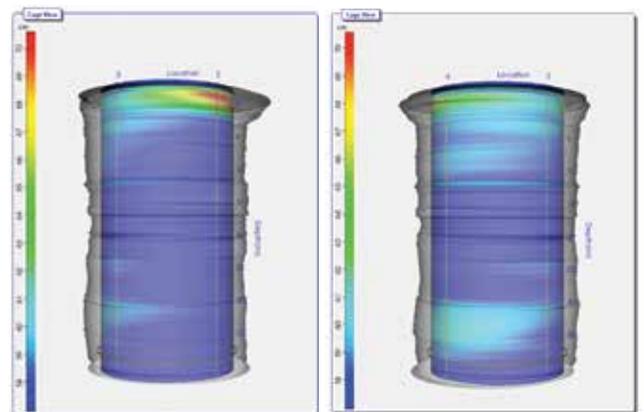


Figura 8: Imagem 3D representando o alargamento ocorrido ao longo do fuste da estaca



Nesta segunda parte os fios térmicos foram inseridos com a gaiola na vertical, conforme sua introdução na estaca. A terceira parte foi instrumentada no

terreno e conectada aos fios térmicos restantes no momento da clipagem. Após a instrumentação ter sido finalizada, os coletores térmicos (TAP) foram

testados e a concretagem liberada para ser iniciada (Fig.7). Na concretagem foram utilizados cinco caminhões betoneira com 8,0 m³ de concreto.

No dia seguinte após 23 horas do início da concretagem, foram retirados os coletores de temperatura e iniciou-se a análise do ensaio no escritório. Os resultados mostraram uma estaca uniforme ao longo do comprimento e íntegra com alguns pontos de alargamento. O diâmetro médio da estaca em todas as profundidades foi superior ao diâmetro nominal de 1,10 m, especificado no projeto (Fig. 8). Salienta-se que os primeiros 3 metros da imagem são referentes a sensores térmicos que encontram-se para fora do terreno. Considerando o diâmetro da gaiola de 95 cm, os dados indicaram uma cobertura de concreto de 6 a 14 cm ao longo do comprimento da estaca (Fig. 9). A Figura 9 mostra as temperaturas me-

das (pelo método de fiação térmica) ao longo do fuste da estaca. Cada um dos traços 1 a 4 corresponde a uma fiação térmica, estando ainda representada a curva média (indicada por Avg. na Fig 9). Os quatro registros comportaram-se aproximadamente de maneira semelhante, não apresentando um desvio significativo de um alinhamento vertical. Este resultado mostra uma estaca em boas condições, sem nenhum dano ou anomalia. No entanto, a armadura não se encontra perfeitamente alinhada em todo seu comprimento, principalmente nos comprimentos de 3 a 12 m e de 22 a 39 m. As temperaturas não idênticas em cada um dos quatro pontos de medição indicam

que a armadura apresenta algum desalinhamento. O deslocamento mais significativo da armadura ocorreu na profundidade de 32,61 m, onde o fio térmico 4 apresentou uma temperatura mais elevada porque encontra-se mais próximo ao centro da estaca e o fio 2 (diametralmente oposto) encontra-se mais próximo a interface solo-estaca devido à sua baixa temperatura (Fig. 12). A Figura 10 mostra o alargamento da estaca provavelmente devido à oscilação da perfuratriz ou escavação excessiva nos primeiros 3 metros. A Figura 11 mostra a gaiola totalmente centralizada na seção da estaca.

6. CONCLUSÕES

A execução de ensaios de integridade por vários métodos, quando viável, geralmente resulta em uma boa avaliação da qualidade da fundação. Dentre os ensaios existentes, o método CSL não examina a região exterior à gaiola da armadura, o Gama-Gama cobre aproximadamente 10% dessa importante região, onde geralmente ocorrem as anomalias. Já o método PIT que realiza uma análise total ao longo do fuste, apresenta restrições quanto à profundidade. O método de perfilagem térmica (TIP) permite examinar 100% da área da seção transversal, além de avaliar a geometria do fuste, o posicionamento da gaiola da armadura e o recobrimento de concreto. Uma importante característica do ensaio TIP é a possibilidade de obtenção de resultados mais rápidos do que através de outros métodos (durante, e não após, o período de cura).

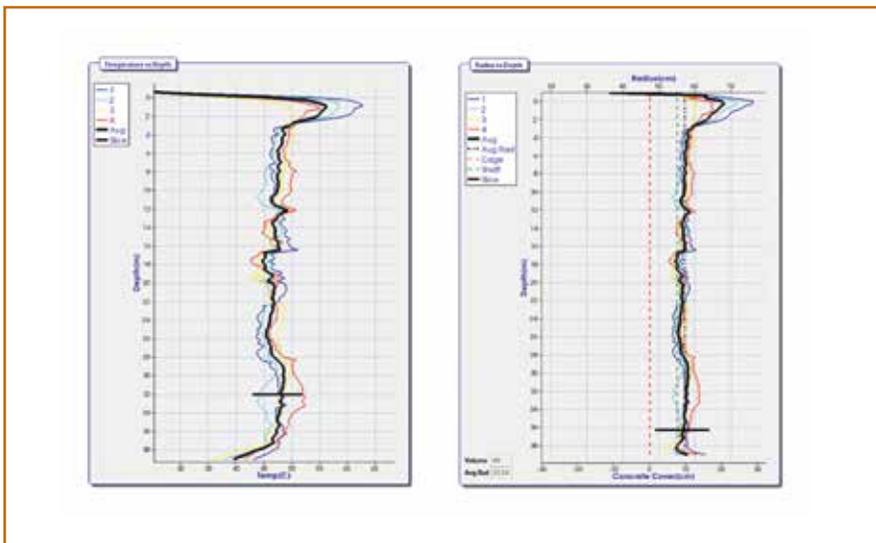


Figura 9: Representação gráfica de medidas de temperatura versus profundidade

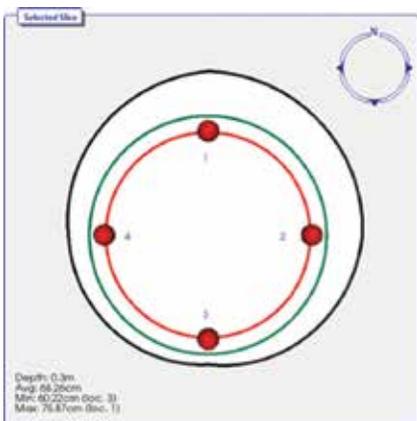


Figura 10: Posição da gaiola no comprimento 0,3 m

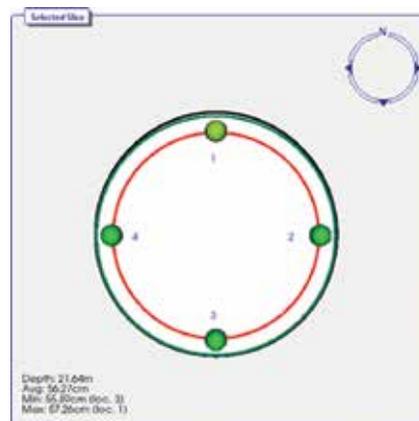


Figura 11: Posição da gaiola no comprimento 21,6 m

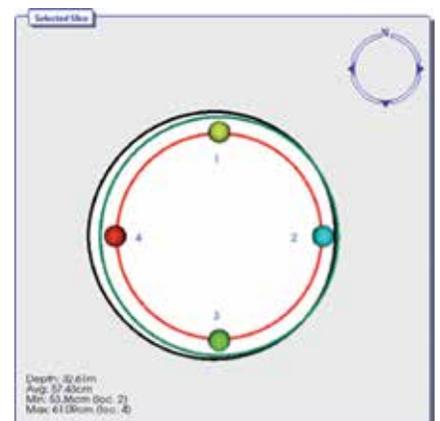


Figura 12: Deslocamento da gaiola no comprimento 32,61 m



Figura 13: O equipamento

A interpretação da maior parte dos resultados obtidos com a perfilagem térmica é relativamente simples. As cotas do fundo e do topo da estaca, o alinhamento da armadura e as variações significativas da seção transversal são estimadas a partir da observação das temperaturas medidas. A comparação quantitativa dos relatórios de construção e de concretagem com as temperaturas medidas por meio de perfilagem térmica permite estimar a geometria do fuste e a posição da armadura com maior precisão. O primeiro ensaio de perfilagem térmica (TIP) realizado no Brasil demonstra todos os benefícios que este ensaio pode trazer as grandes obras que estão ocorrendo no país, em estacas de grandes diâmetros e comprimentos, nas quais o PIT possui suas restrições e os outros métodos não identificam as ocorrências na região externa à armadura.

Ressalta-se ainda que o ensaio de perfilagem térmica (TIP) pode ser utilizado para verificar a integridade e forma de outras estruturas de concreto, como por exemplo, paredes diafragma.

REFERÊNCIAS

Caltrans, 2005. Method of ascertaining the homogeneity of concrete in cast-in-drilled hole (CIDH) piles using the gamma-gamma test method. California Department of Transporta-

tion Specifications, California Test 233.

Caltrans, 2010. Gamma-gamma logging (GGL). www.dot.ca.gov/hq/esc/geotech/ft/gamma.htm

Cotton, D., Ference, M., Piscalko, G., and Rausche, F., 2010. Pile Sensing Device and Method of Making and Using the Same. US Patent 8,382,369.

Mullins, G., 2010. Thermal Integrity Profiling of Drilled Shafts. DFI Journal, Vol. 4 No. 2

Mullins, G. e Ashmawy, A., 2005. Factors affecting anomaly formation in drilled shafts. Final Report, FDOT Project BC353-19.

Mullins, G., Beim, G, Likins, G. E., Beim, J.W., 2012. Avaliação da Integridade de Fundações Moldadas *in Loco* Pelo Método de Perfilagem Térmica. Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia: São Paulo, Brasil.

Mullins, G. e Kranc, S. C., 2004. Method for testing the integrity of concrete shafts. US Patent 6,783,273.

Mullins, G., Likins, G. E., Beim, G, 2012. Método de Perfilagem Térmica para Avaliação da Integridade de Fundações Moldadas *In Loco*. Cobramseg 2012; XVI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica: Pernambuco, Brasil.

Piscalko, G., 2012. New Non Destructive Testing Method for Drilled Shafts and ACIP Piles, Proceedings, 37th Annual Conference on Deep Foundations, Deep Foundations Institute, Houston, Texas.

Pauly, N., 2010. Thermal conductivity of soils from the analysis of boring logs. Master's Thesis, University of South Florida Department of Civil and Environmental Engineering, Tampa, Florida.

Anuncie
na revista

**fundações
& geotécnicas**
Obras



Anuncie no único veículo
de comunicação
especializado no segmento
de Fundações e Geotecnia

Comunicação direta com:

- Engenheiros
- Orçamentistas
- Contratantes
- Projetistas
- Gerenciadores de obras
- Estudantes
- Geólogos



publicidade@editorarudder.com.br

11 2685-0924 | 11 2682-7892