

Aplicabilidade de métodos não destrutivos em estruturas de contenção: cortinas atirantadas e solo grampeado

Ana Paula Mikos

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, anapaulamikos@hotmail.com

Larissa Roedel

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, larissa.roedel.8@gmail.com

Manuela Cabral Caetano

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, manuela.c.caetano@gmail.com

Alessander C. Morales Kormann

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, alessander@ufpr.br

Vítor Pereira Faro

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, vpfaro@ufpr.br

Liamara Paglia Sestrem

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, liamara.ufpr@gmail.com

Sidnei Helder Cardoso Teixeira

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, s.teixeira@ufpr.br

RESUMO: Nas rodovias brasileiras, milhares de obras de cortina atirantada e solo grampeado se fazem presentes, caracterizadas por diferentes geometrias e idades. Um acompanhamento periódico do estado de conservação dessas estruturas é fundamental para se garantir condições de tráfego adequadas e segurança aos usuários. Para avaliar a integridade dos elementos, os métodos não destrutivos estão sendo muito estudados em âmbito nacional e internacional por serem técnicas simples e de fácil execução, evitando métodos destrutivos como o ensaio de arrancamento. As técnicas já utilizadas no Brasil são o *Sonic Echo* e o *Reflectometric Impulse Measurement Technique* (RIMT), havendo certa tendência internacional para aplicação de outros métodos como da resistividade elétrica e o *Time Domain Reflectometry* (TDR). Este artigo propõe uma breve comparação entre os principais métodos utilizados na avaliação de estruturas de contenção, a fim de avaliar a aplicabilidade dessas tecnologias no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: Métodos não destrutivos, Comprimento, Integridade, Grampos, Tirantes.

1 INTRODUÇÃO

Estruturas de contenção são comumente utilizadas ao longo de rodovias e ferrovias a fim de garantir a estabilidade dos taludes contíguos às infraestruturas viárias. Entre as distintas estruturas de contenção, destacam-se as cortinas

atirantadas e o solo grampeado. Por representarem sistemas cuja funcionalidade está diretamente relacionada com a segurança e conforto de operação das rodovias e ferrovias, o acompanhamento periódico do estado de conservação desses sistemas torna-se essencial a fim de conferir seu desempenho atual. O

principal fator limitante encontrado na avaliação da condição dos elementos é o acesso, pois se tratam de elementos enterrados, inspeções de rotina ficam condicionadas ao campo visual e podem deixar de identificar manifestações patológicas relevantes.

De modo geral, a avaliação da integridade dessas estruturas pode ser realizada através de métodos destrutivos e não destrutivos. Os ensaios destrutivos podem ser realizados, por exemplo, com técnicas de que envolvem arrancamento de um grampo/tirante pré-selecionado. Tais procedimentos podem, contudo, comprometer a estabilidade da estrutura de contenção e ainda não resultar em uma condição representativa da mesma. Em contrapartida, os ensaios não destrutivos (*Non Destructive Testing* – NDT) são técnicas não invasivas que permitem avaliar todos os elementos, tanto na construção, como ao longo de toda vida útil, dispondo de menos tempo para realização dos ensaios.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Contenções e patologias associadas

Os sistemas de ancoragem são utilizados amplamente para a contenção de taludes naturais ou artificiais sujeitos a instabilização, e são formados por duas estruturas principais de ancoragem: tirantes e grampos (chumbadores). A integridade desses elementos depende do seu estado de conservação e capacidade de atingir os esforços aos quais foram projetados. O mapeamento e correlação das patologias associadas às estruturas de estabilização estão diretamente relacionados ao método construtivo utilizado. Enquanto no solo grampeado os elementos têm o furo completamente preenchido com calda de cimento, nos tirantes a injeção é realizada somente na ponta do elemento de fixação, formando um bulbo de ancoragem e um trecho livre, com posterior protensão do elemento, mantendo-o em estado ativo. Além disso, enquanto no solo grampeado o concreto projetado que forma a face da estrutura não tem função estrutural, na cortina atirantada o paramento atua como uma estrutura

de reação, responsável pela fixação da cabeça das ancoragens.

2.1.1 Cortina atirantada

Em cortinas atirantadas, as principais patologias e consequentemente acidentes estão associadas à ruptura do tirante por processos de corrosão, concentrados normalmente na zona livre e próximo à cabeça. Pitta *et al.* (2006) avaliaram obras com mais de 30 anos de execução em São Paulo e constataram que grande parte dos tirantes estavam soltos ou rompidos devido à processos avançados de corrosão. Os autores concluíram ainda que este tipo de patologia ocorre por deficiência na proteção anticorrosiva durante o processo executivo e falta de proteção na cabeça dos tirantes. A primeira norma brasileira desenvolvida para este tipo de estrutura de contenção foi a NB-565/75 – Estruturas Ancoradas no Terreno – Ancoragens Injetadas no Terreno – Procedimento, publicada inicialmente em 1975 e revisada pela última vez em 2006. Contudo, Pitta *et al.* (2006) afirmam que parte das estruturas existentes são anteriores a ela e, portanto, foram construídas apenas com base em procedimentos internos das empresas executoras, os quais nem sempre refletiam padrões de qualidade aptos a evitar problemas ao longo da sua vida útil. Cabe salientar que a ruptura de cortinas atirantadas pode representar elevados danos sociais, ambientais e econômicos, comprometendo a segurança e conforto dos usuários.

2.1.2 Solo grampeado

Jayawickrama *et al.* (2007) indicam que os principais problemas relacionados com os grampos ocorrem devido ao preenchimento incompleto do furo com a calda de cimento, sendo esta uma condição essencial para garantir o desempenho desse tipo de estrutura de contenção. Tais falhas podem ocorrer por diversos motivos, dentre eles: erros decorrentes da instalação e execução de testes de qualidade, ausência de centralizadores, falta de tubo guia, consistência da nata muito rígida ou fluída e perfurações maiores que o comprimento das barras. Souza *et al.* (2005) explicam que estas falhas podem causar maiores deformações da contenção, reduzir a capacidade de carga do

chumbador e deixar a barra exposta e suscetível à corrosão. Shiu & Cheung (2003) afirmam que a degradação de estruturas de contenção normalmente está associada a uma soma de fatores dos quais, citam-se: falhas no preenchimento do furo com calda de injeção, falta de proteção anticorrosiva nas barras, potencial corrosivo do solo e presença de água no maciço.

2.2 Métodos não destrutivos

A aplicação de métodos não destrutivos (MND) em estruturas de contenção é uma prática promissora que vem sendo estudada principalmente em âmbito internacional devido à sua simplicidade e facilidade de execução, além de não comprometer as funções estruturais das contenções, o que pode ocorrer com a utilização de ensaios destrutivos. Com base nesse contexto, foi realizado um levantamento bibliográfico das principais metodologias utilizadas para verificação da integridade e características das barras de aço (grampos e tirantes) inseridas em estruturas de contenção.

Os MND são normalmente baseados em técnicas acústicas, magnéticas, reflectométricas, ultrassônicas e de resistividade elétrica. Dentre os diversos métodos existentes no mercado, quatro se apresentam mais promissores e com potencial de utilização nas contenções já existentes. São eles: *Sonic Echo*, *Time Domain Reflectometry*, *Reflectometric Impulse Measurement Technique*, e o método da Resistência Elétrica.

2.2.1 Sonic Echo

Segundo Cheung (2003) trata-se de um ensaio baseado no mesmo princípio utilizado nos ensaios de integridade em estacas (PIT) que consiste na aplicação, transmissão e recepção de uma onda acústica gerada por um golpe de um martelo, também denominada onda de tensão (Figura 1). Um ou mais acelerômetros são instalados na calda de cimento para registro da vibração da barra e, analisando a onda refletida é possível determinar a localização de descontinuidades e do fim da barra, onde ocorrerá a maior reflexão devido à variação das propriedades dos materiais. O autor ainda

afirma que os fatores que mais afetam a passagem da onda são: a força aplicada no martelo, as características físicas da barra, da calda de cimento e as propriedades do solo ao redor da barra.

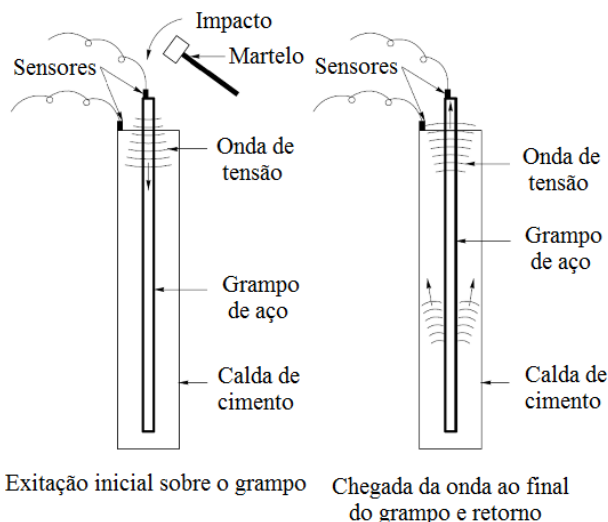


Figura 1. Desenho esquemático do método *Sonic Echo* (Adaptado de Cheung, 2003)

O método baseia-se na Equação (1) para determinação do comprimento da barra (L) ou da distância até as descontinuidades, em metros. Para tal, é necessário conhecer a velocidade de propagação da onda (V_s) em m/s, e o tempo (t) entre a excitação inicial e da chegada da onda refletida.

$$L = \frac{V_s \cdot t}{2} \quad (1)$$

Para resultados com maior precisão, sugere-se calibrar a velocidade de propagação da onda em barras com comprimentos conhecidos. Cheung (2003) também alerta sobre o efeito de amortecimento que pode ocorrer em barras muito compridas, resultante da dissipação da energia aplicada. A atenuação do sinal acontece progressivamente, sendo um fenômeno normal de absorção da energia pela refração lateral do elemento. Na maioria dos casos, é necessário um processamento dos dados a fim de identificar a reflexão pela extremidade da barra e melhorar a qualidade dos resultados. Dentre as técnicas disponíveis, tem-se: utilização de um filtro de alta frequência para atenuar os sinais e vibrações não desejados, ampliação da resposta

por uma equação exponencial para compensar o amortecimento e identificar a primeira onda da reflexão do final da barra pela detecção de suas características distintas (Lee & Arup, 2007).

Na prática brasileira, há registro de uso deste método para avaliação da integridade e do comprimento das barras e, em casos de tirantes, determinação do comprimento ancorado e livre, além da tensão nos elementos. Os dados obtidos no ensaio são tratados matematicamente e, posteriormente, a curva da relação entre vibração e impacto em função da frequência é analisada. A curva é efetuada com base em dois parâmetros: resposta em frequência, para determinar o comprimento, e rigidez dinâmica, indicando a integridade da barra (Rincen, 2015).

Para avaliar a eficácia do método *Sonic Echo*, Cheung (2003) realizou o teste em 30 grampos com o objetivo de determinar seu comprimento. Os resultados não obtiveram resultados conclusivos em 20% dos casos, 27% apresentaram erros acima de 10%, e 53% tiveram erros inferiores a 10%. O autor concluiu que trata-se de um método de pouca precisão mas que pode ser aperfeiçoado para aumentar sua confiabilidade.

Cheung & Lo (2005) tiveram dificuldades em identificar as reflexões, não obtendo resultados significativos, devido a atividades nas proximidades. O Departamento de Transportes do Texas desenvolveu uma pesquisa sobre o método na avaliação da instalação de grampos no solo e concluiu que a metodologia é promissora para determinação da integridade da calda de cimento, salientando que esta técnica deve ser mais explorada e aprimorada (Jayawickrama *et al.*, 2007).

2.2.2 Time Domain Reflectometry

O método *Time Domain Reflectometry* (TDR) é baseado na reflectometria com princípio de radar em circuito fechado, medindo-se o tempo em que sinais elétricos de alta frequência se propagam em um determinado meio. Quando um impulso elétrico é gerado, qualquer descontinuidade será refletida e, com base nas características destes ecos, como o tempo de percurso e velocidade de transmissão, a localização da anomalia pode ser

identificada (Cheung, 2003). A velocidade de propagação do sinal elétrico não é sensível às características da calda de cimento, mas sim a vazios e anomalias mais significativas que causam variações no sinal de resposta. Por isso, o método é aplicado na determinação do comprimento das barras de aço e identificação de falhas na calda de cimento, onde a mudança de material altera a velocidade do pulso, permitindo assim ser facilmente identificado.

O TDR tradicional apresenta uma configuração análoga a um cabo coaxial e consiste em um fio elétrico pré-instalado na estrutura ao longo do grampo, com emissão de pulsos elétricos de alta-frequência emitidos na cabeça da barra de aço e no fio elétrico. O equipamento TDR também pode ser substituído por um osciloscópio, que mede os ecos (pulso refletido) juntamente com um gerador de pulso elétrico (Liu *et al.*, 2002).

O procedimento de ensaio envolve ainda uma técnica de calibração no qual o instrumento TDR deve ser ligado à cabeça da barra e então pulsos elétricos curtos e longos são enviados e os tempos de reflexão registrados, possibilitando o cálculo da média da velocidade de propagação do impulso. A velocidade de propagação é determinada pelas propriedades do material e, com ela calibrada. Essas etapas podem ser repetidas nos grampos a serem testados para determinação do seu comprimento e localização das anomalias.

Tang & Cheng (2014) realizaram testes em grampos de mesmo comprimento envolvidos por ar, solo e calda de cimento, e confirmaram que a velocidade de propagação no ar é maior do que no solo, que é maior que na calda de cimento, e estas diferenças de velocidade que permitem a identificação de anomalias nas contenções. Assim, determinada a velocidade de propagação V_p (m/s) e o tempo de viagem do pulso t (s), a distância L (m) da cabeça do grampo até a anomalia, ou até o fim da barra, pode ser definida pela equação (2).

$$L = V_p \cdot t \quad (2)$$

Um esquema ilustrativo do método é demonstrado na Figura 2.

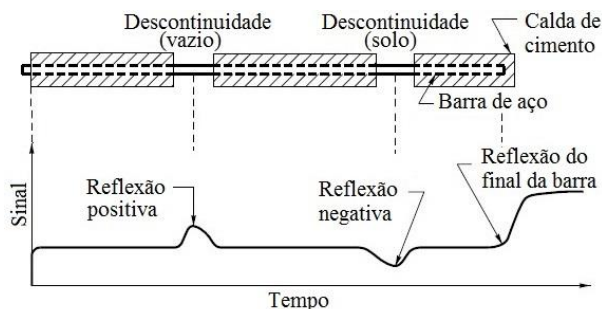


Figura 2. Esquema explicativo do método TDR (Adaptado de Cheung & Lo, 2005)

Tang & Yeung (2006) explicam que quando o vazio é preenchido com ar ou quando a calda de cimento apresenta uma espessura maior, existe um aumento da impedância, ou seja, oposição à passagem de corrente elétrica, gerando um sinal positivo. No entanto, se o diâmetro do preenchimento com a calda for menor, ou se existir solo em contato com a barra, a impedância é reduzida e produz um reflexo negativo. Logo, quando o pulso chega à extremidade da barra, toda energia é refletida.

Liu *et al.* (2002) estudaram essa metodologia a fim de detectar, localizar e identificar o grau de corrosão localizada e superficial em barras de aço, pois com a redução da área da seção o eco gerado aumenta e, a partir da magnitude e duração deste reflexo é possível determinar a dimensão e o comprimento da corrosão. Os autores também alertam que vazios na calda de cimento mantêm a seção da barra vulnerável à corrosão e, como nesses casos os vazios estão preenchidos normalmente por ar ou água, a velocidade de propagação da corrente também varia e a anomalia pode ser identificada.

Cheung (2003) avaliou o método TDR com o fio pré-instalado a fim de determinar o comprimento das barras e obteve uma precisão de $\pm 0,2$ metros para barras com 6 metros de comprimento. Lee & Arup (2007) também obtiveram bons resultados, com variação de $\pm 8\%$. Cheung & Lo (2011) avaliaram barras de 8 a 14 metros, com a variação de fatores que alteram os resultados, tais como: leitura das reflexões por vários operadores, variação do tipo de fio e incertezas quanto à integridade da calda e alcançaram uma precisão de $\pm 9\%$. De acordo com Tang & Cheng (2014) a utilização do fio permite ainda detectar defeitos significativos na calda de cimento quando a área

comprometida é maior que 30% do comprimento total.

Além do TDR tradicional, Cheung (2003), Cheung & Lo (2005) e Lee & Arup (2007) também estudaram a aplicação do método *Surface Wave Time Domain Reflectometry* (SW-TDR) que não exige a instalação do fio elétrico ao longo do comprimento da estrutura, permitindo assim, avaliar contenções já existentes. A aplicação dos pulsos eletromagnéticos ocorre apenas na cabeça da barra que será submetida às propriedades indutivas e capacitativas da calda de cimento adjacente (ou sua ausência). Segundo Cheung (2003), o sinal refletido no ensaio SW-TDR não é tão forte como no ensaio com o fio elétrico pré-instalado. Apesar disso, o autor obteve uma precisão de $\pm 0,7$ m em barras de 6 metros. Ressalta-se que não foi obtido nenhum resultado conclusivo com a avaliação integridade do preenchimento através da aplicação do método sem o fio.

Uma vertente do SW-TDR com aplicação no Brasil é denominada RIMT, sigla que representa “Técnica da Medição da Reflectometria de Impulso”, desenvolvida através de parcerias entre o Instituto Politécnico de Zurique e empresas privadas suíças e italianas. A classificação é dada pela perda de seção e para os vazios de injeção, classificando os resultados em faixas pré-definidas (Cordec, 2015).

Inspesis (2006) realizou uma inspeção da ponte Rio-Niterói através do método RIMT. As anomalias indicadas pela técnica apontaram perdas por corrosão inferiores a 15% com manifestações de certa forma incipientes, confirmadas posteriormente por inspeção visual.

2.2.3 Resistência elétrica

O método consiste na medição da resistência elétrica entre a barra de aço e todo o solo ao seu redor. Cheung & Lo (2005) descrevem a resistência total do elemento como sendo compreendida pela resistência da barra de aço, resistência de contato entre a barra e a calda de cimento, resistência radial da calda de cimento, resistência entre a calda de cimento e o solo e a resistência radial do solo circundante à barra. Em condições normais, a resistência da barra e a

resistência de contato tendem a ser desprezíveis ou relativamente pequenas. A resistência radial depende do raio do furo e da mobilidade iônica no interior da calda de cimento. Com relação ao solo, a resistividade depende de seu grau de homogeneidade, teor de umidade, teor de argila e condutividade iônica da água subterrânea.

Para determinação da resistência elétrica do elemento são instalados dois eletrodos de aço inoxidável (corrente e potencial) em uma profundidade de 0,5 a 1 metro abaixo do nível do solo e a uma distância linear de no mínimo 20, e no máximo 50 metros, entre eles e o local do teste (Figura 3) (Cheung & Lo, 2005).

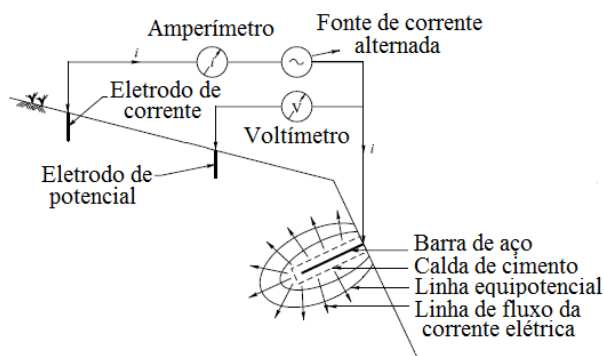


Figura 3. Esquema explicativo do método da resistência elétrica. (Adaptado de Cheung & Lo, 2005)

O procedimento envolve a aplicação de uma corrente elétrica na barra de aço, que retorna no eletrodo de corrente e é medido pelo eletrodo de potencial, através da diferença do potencial elétrico entre a barra e o solo ao seu redor. Para manter o sistema em equilíbrio, o método utiliza corrente alternada evitando polarização dos eletrodos. A resistência total é dada pela relação entre a tensão medida entre o eletrodo de potencial e a cabeça da barra (vôltemetro) e a intensidade da corrente (amperímetro), fornecida diretamente pelo equipamento. A técnica envolve a comparação de medições de resistência elétrica de barras próximas, sendo que valores distintos podem indicar falhas na calda de cimento ou comprimentos divergentes. De acordo com Lee & Arup (2007), valores altos podem ser atribuídos a elementos com falhas ou vazios no preenchimento ou ainda à presença de uma barra de menor comprimento. Valores de resistência inferiores podem estar associados a excesso de argamassa no furo.

Cheung & Lo (2005) realizaram testes em grampos com 17 metros de comprimento para avaliar a integridade da calda de cimento. Os grampos com preenchimento de calda de cimento inferior ao comprimento do furo e da barra apresentaram valores de resistência elétrica maior que os grampos com o furo totalmente preenchido, validando a hipótese do método. Quando o vazio foi simulado com ar, a variação do resultado foi maior comparada quando preenchida com solo. Lee & Arup (2007) afirmam que em barras com 9 metros de comprimento são identificados vazios com mais de um metro e, em barras com 15 metros de comprimento, com pelo menos dois metros.

Em uma segunda fase de testes, Cheung & Lo (2005) também realizaram ensaios em dias de chuva e sol para verificar a influência das condições climáticas nos resultados. Os autores concluíram que para grampos com a calda de cimento intacta, a resistência elétrica total é pouco reduzida em dias de chuva. No entanto, se existem falhas na calda de injeção, a redução é mais significativa devido ao preenchimento do vazio com água.

3 DISCUSSÃO

Com base no contexto descrito nos itens precedentes, conclui-se que o conceito do método *Sonic Echo* é interessante e possui aplicação consagrada para avaliação de estacas através do PIT (*Pile Integrity Tester*). No entanto, a utilização da técnica em estruturas de contenção sofre influência de fatores que tendem a atenuar a onda acústica, dificultando a determinação do tempo de percurso da onda, extremamente importante para identificação do comprimento. Cabe salientar ainda que a propagação do pulso ocorre em um meio de características físicas variáveis (e.g. geometria do grampo e propriedades físicas do solo) e imprevisíveis ao longo do comprimento da barra e, portanto, fatores externos podem afetar os resultados. Jayawickrama *et al.* (2007) e Cheung (2003) afirmam que se trata de um método promissor mas sugerem o estudo mais detalhado, a fim de aprimorá-lo.

O método TDR apresenta excelentes resultados com a pré-instalação de um fio elétrico paralelo à barra, procedimento de custo irrelevante quando comparado com o custo da contenção, permitindo avaliar a integridade dos elementos tanto na fase executiva, como após a construção. O método SW-TDR e o RIMT, permitem a aplicação em obras sem a pré-instalação do fio elétrico que, apesar de apresentar algumas limitações, indica grande potencial de utilização.

A técnica baseada em resistência elétrica é comparativa, ou seja, não fornece diretamente o comprimento da barra. Contudo, é recomendável associá-la a um método complementar. Porém, se o comprimento de projeto da barra for conhecido, a interpretação dos resultados torna-se muito mais precisa. Com base nesses conceitos, procedimentos e resultados dos métodos estudados, a Tabela 1 apresenta um quadro resumo com as principais características das técnicas avaliadas.

Tabela 1. Resumo dos Métodos não destrutivos

Método	<i>SONIC ECHO</i>	TDR	RESISTÊNCIA ELÉTRICA
Princípio físico	Onda acústica (tensão)	Pulso elétrico de alta frequência (5 a 100 MHz)	Pulso elétrico (corrente alternada)
Equipamentos	Acelerômetros; Martelo (1 a 2 kg)	Fio elétrico (< 2 mm); Instrumento TDR; ou Osciloscópio + Gerador de pulso elétrico	Eletrodo de corrente e de potencial; Voltímetro e Amperímetro; Fonte de corrente alternada
Aplicabilidade	Comprimento da barra; Integridade da calda de cimento	Comprimento da barra; Integridade da calda de cimento; Presença de corrosão	Comprimento e integridade da calda de cimento; Comparação entre os elementos
Méritos	Avaliação de todos elementos; Equipamento disponível no mercado	Avaliação de todos elementos	Avaliação de todos elementos; Interpretação simplificada dos resultados; Equipamento disponível no mercado (já utilizado para outras finalidades)
Limitações	Acesso à cabeça da barra; Sujeito a atenuação do sinal; Onda pode ser afetada por atividades externas; Requer experiência para interpretação dos resultados; Desejável calibração em elementos de comprimento conhecido	Acesso à cabeça da barra; Requer experiência para interpretação dos resultados; Desejável calibração em elementos de comprimento conhecido; Para melhor precisão requer fio pré-instalado	Acesso à cabeça da barra; Dificuldades para distinguir menor comprimento da barra e falhas na calda de cimento; Necessário acesso na parte superior da contenção

Os equipamentos do *Sonic Echo* e da resistência elétrica podem ser encontrados no mercado nacional, enquanto o TDR e RIMT são equipamentos desenvolvidos internamente pelas empresas e, seu princípio de funcionamento envolve técnicas de conhecimento restrito.

Cabe salientar que a interpretação correta dos resultados representa um fator fundamental para viabilidade de aplicação de qualquer metodologia descrita. A variação do comprimento e/ou a presença de um vazio no preenchimento podem resultar em valores e gráficos semelhantes. Para que os resultados não sejam apenas qualitativos, os dados devem ser analisados por profissionais experientes.

No método da resistência elétrica, a

interpretação é direta, porém, os resultados também devem ser cuidadosamente avaliados, permitindo distinguir comprimentos menores de falhas.

Ressalta-se que para a avaliação das estruturas de contenção, todas as metodologias necessitam de acesso à cabeça do grampo e/ou tirante. Na avaliação de obras recém-executadas, os ensaios podem ser realizados antes da aplicação ou construção do revestimento externo. No entanto, em obras já executadas, a extremidade dos grampos e tirantes deverá ser localizada, com remoção cuidadosa do revestimento da cabeça, de modo a não comprometer a segurança da obra.

A calibração é uma etapa importante em

todas as técnicas analisadas, a fim de determinar a velocidade de propagação da onda acústica (*Sonic Echo*) e elétrica (TDR) para assim obter maior precisão nos resultados da avaliação das demais barras. Recomenda-se a utilização de um elemento pré-disposto na contenção de geometria conhecida para calibração mas, se isso não for possível, deve-se comparar com valores de projeto, de preferência localizados na mesma área. Na ausência de informações de projeto, é possível utilizar valores pré-estabelecidos para cada método, o que representará uma redução na precisão dos resultados (Cheung, 2003 e Lee & Arup, 2007).

4 CONCLUSÃO

Embora a experiência internacional revele bons resultados na avaliação da integridade de estruturas de solo grampeado e cortina atirantada através de ensaios não destrutivos, no Brasil o uso dessas técnicas ainda é pouco difundido.

Os três métodos não destrutivos estudados possuem grande potencial de utilização, sendo necessário, entretanto, ampliar sua utilização no cenário nacional para aumentar o entendimento de sua aplicação e limitações. Apesar de utilizar um princípio similar ao do ensaio de integridade já consagrado para aplicação em estacas, a utilização do *Sonic Echo* apresenta o maior número de limitações quando comparado com os demais. O método TDR com fio pré-instalado mostrou-se uma ferramenta alternativa tanto para fiscalização da execução das obras como para avaliação da evolução da integridade das contenções ao longo do tempo. O método da resistência elétrica representa uma técnica comparativa e complementar, de forma a colaborar no reconhecimento das barras e definir limites de variação de resistência elétrica.

O desenvolvimento de novos estudos como por exemplo, com a formação de um banco de dados a partir de resultados obtidos em elementos de geometria conhecida, pode contribuir significativamente para o desenvolvimento de um procedimento padronizado de aplicação de cada método,

fornecendo orientações e instruções para interpretação dos resultados e validando assim novas ferramentas de avaliação para estruturas de contenção em âmbito nacional e internacional.

REFERÊNCIAS

- Cheung, W. M. Non-destructive tests for determining the lengths of installed steel soil nails. Geo Report 133. Geotechnical engineering office. Maio: 2003. 55p.
- Cheung, W. M.; Lo, D. O. K. Interim report on non-destructive tests for checking the integrity of cement grout sleeve of installed soil nails. Geo Report 176. Geotechnical engineering office. Dez: 2005. 48p.
- Cheung, W. M. Lo, D. O. K. Use of time-domain reflectometry for quality control of soil-nailing works. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2011. 14p.
- Cordec. Método RIMT®. Disponível em: <<http://www.cordecdobrasil.com.br/servicos/metodo-himt.php>>. Acesso em: 25/11/2015.
- Inspesis. Análise do comportamento estrutural dos cabos protendidos longitudinais do elevado da Avenida Rio de Janeiro. 2006. Relatório técnico. Anexo 5.1.
- Jayawickrama, P. W.; Tinkey, Y.; Gong, J.; Turner, J. Non-Destructive Evaluation of Installed Soil Nails. Report No. FHWA/TX 07- 0-4484-1. 258 p. 2007.
- Lee, C. F.; Arup, O.; Partners Hong Kong. Review of Use of Non-Destructive Testing in Quality Control in Soil Nailing Works. GEO Report 219 Dez: 2007. 112p.
- Liu, W.; Hunsperger, R. G.; Chajes, M. J.; Folliard, K. J.; Kunz, E. Corrosion Detection of Steel Cables Using *Time Domain Reflectometry*. Journal of Materials in Civil Engineering, p.219-p.223. 2002.
- Pitta, C. A., Souza, G. J. T., Zirlis, A. C., Ferreira, J. F. C. Quanto tempo durarão as cortinas atirantadas executadas a partir da década de 70? 30 anos?. XIII COBRAMSEG. 2006. 7p.
- Rincen. Método não-destrutivo de verificação de tirantes. Disponível em: <<http://www.rincen.com.br/Folders%20site/Folder%20Tirantes.pdf>>. Acesso em: 11/2015.
- Shiu, Y. K.; Cheung, W. M. Long-term durability of steel soil nails. Geo Report 135. Geotechnical engineering office. Junho: 2003. 66p.
- Souza, G. J. T.; Pitta, C. A.; Zirlis, A. C. Solo grampeado – aspectos executivos do chumbador. IV COBRAE – Salvador-BA, p. 835-844, 2005.
- Tang, C.S.C., Cheng, P.F.K. Use of *Time Domain Reflectometry* (TDR) with pre-installed wires to check the grout integrity of soil nail. GEO Report 304. Geotechnical engineering office. Dez: 2014. 42p.
- Tang, T. and Yeung, A.T., Full-Scale Field Testing of Surface Waves – TDR Technique in Integrity Evaluation of Large-Diameter Bored Piles. Proc. TDR 2006, Purdue University. USA, Setembro: 2006. 11p.