

00-00

INOVAÇÃO E TECNOLOGIA

DETECÇÃO DE INFRA-ESTRUTURAS DE REDES COM RECURSO AO RADAR DE PROSPECÇÃO GEOTÉCNICA

A INSPECÇÃO COM GEORADAR PERMITE DETECTAR DIVERSOS TIPOS DE INFRA-ESTRUTURAS DE REDES DE FORMA NÃO DESTRUTIVA, SEM INVIABILIZAR O USO DO LOCAL E SEM DANOS PARA O PATRIMÓNIO E PESSOAS. NESTE ARTIGO, OS AUTORES DEMONSTRAM QUE A TÉCNICA PERMITE DETECTAR UM CONJUNTO ALARGADO DE TUBAGENS, CABOS ELÉCTRICOS E CABOS DE FIBRA ÓPTICA, DE FORMA EXPEDITA E COM UMA PEQUENA EQUIPA DE TRABALHO.

TEXTO FRANCISCO M. FERNANDES, DOMINGOS J. SOUSA, PAULO B. LOURENÇO

As redes de água, gás, electricidade e comunicações, entre outras infra-estruturas, são, normalmente, controladas por diferentes instituições públicas e privadas. No entanto, é corrente que os municípios e companhias privadas não estejam organizados de forma a terem um mapa actualizado com essas infra-estruturas, o que conduz à ausência de informação sobre a construção original e sobre alterações registadas desde a altura da sua execução e alteração. Consequentemente, a manutenção da rede é uma tarefa difícil, assim como quaisquer intervenções em locais onde o subsolo é desconhecido. A escavação é uma operação cara, com risco elevado e com contrariedades inerentes, por esse motivo, deve ser minimizada. Zanzi e Lualdi (2004) demonstraram que é possível proceder a uma inspecção prévia dos locais onde se irá escavar, utilizando uma metodologia que determina o posicionamento tridimensional e o número de tubagens sem interromper o trânsito ou importunar a circulação de peões. Esta situação é ainda mais crítica em bairros antigos, onde as ruas são estreitas, e cujas infra-estruturas foram instaladas ao longo dos anos sem que tenha havido planeamento ou cadastro. Estudos semelhantes foram efectuados no Brasil (Dourado et al., 2003).

O custo de uma escavação pode oscilar de forma significativa, dependendo das condições do terreno e do local. Por esse motivo, é necessário conhecer o local de intervenção de maneira a limitar a movimentação de terras ao mínimo indispensável. O conhecimento da sua localização permitirá reduzir o rebentamento de tubagens de gás ou água, bem como o corte de cabos eléctricos ou de telecomunicações. Quando a interrupção de redes ocorre é necessário mobilizar

equipamento e pessoas para reparar o dano, o que conduz a encargos adicionais para a reparação e a paragem dos trabalhos que estavam a decorrer, podendo resultar ainda no incumprimento do prazo da obra. Para além, disso pode ocorrer a perda de vidas humanas por soterramento, electrocussão, explosão e inalação de gases, ou outro tipo de dano à integridade física. Finalmente, é de sublinhar que vestígios arqueológicos podem ficar total ou parcialmente destruídos em acções de escavação sem prospecção prévia.

Diversas técnicas não destrutivas têm sido utilizadas recentemente para a detecção e localização de infra-estruturas enterradas. No entanto, a que tem revelado maior potencial é o Radar de Prospecção Geotécnica. Esta técnica, designada por georadar (ou GPR, do inglês *Ground Penetrating Radar*) é um sistema de inspecção baseado na emissão de ondas electromagnéticas de elevada frequência, com elevada capacidade para detectar interfaces entre materiais com propriedades dieléctricas distintas (Fernandes, 2006).

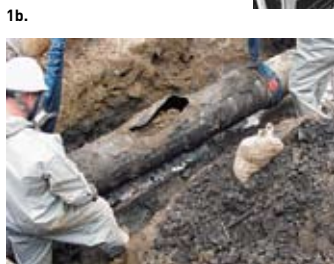
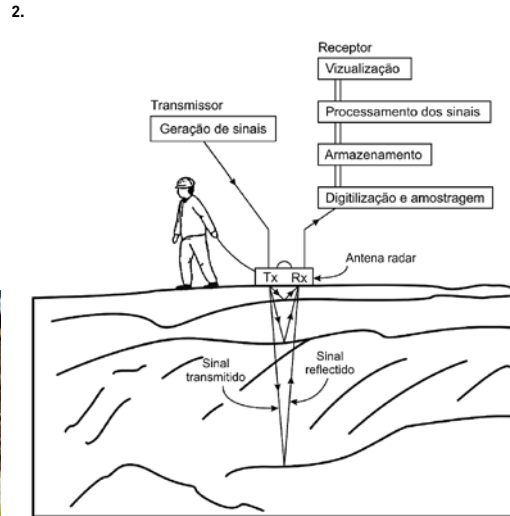
Originalmente, a tecnologia subjacente ao georadar deriva da pesquisa militar sobre a detecção de aeronaves, barcos e submarinos (Buderi, 1998). Nos últimos 30 anos, têm sido sucessivos os estudos sobre esta tecnologia na prospecção geológica e, mais recentemente, na engenharia civil, onde se estandardizou e se passou a utilizar num vasto leque de aplicações (Reynolds, 2002).

Neste artigo, a possibilidade de utilização do georadar é demonstrada na prospecção de diferentes tipos de infra-estruturas na cidade de Guimarães, nomeadamente, tubagens existentes no subsolo, cabos eléctricos e cabos de telecomunicações.

1. Danos devido a acidentes resultado do desconhecimento do subsolo. (a) Destruição da fachada do edifício devido a explosão de uma canalização de gás e (b) perfuração de canalização para abastecimento de água

2. Descrição de um sistema de georadar

3. Realização de ensaio com recurso a um sistema de radar, onde se podem ver os diversos componentes (Unidade de controlo, unidade de visualização e antena)



ACIDENTES RECENTES DEVIDO AO DESCONHECIMENTO DO SUBSOLO

O sector da construção, segundo a Agência Europeia para a Segurança e a Saúde no Trabalho, é a actividade com maior número de acidentes de trabalho, registando também os acidentes mais graves. As ocorrências mais comuns estão relacionados com os trabalhos em altura e de escavação, sendo que, neste último caso, os incidentes ocorrem muitas vezes devido ao desconhecimento do subsolo.

A título de exemplo, apresentam-se incidentes relacionados com obras de escavação ocorridos em território nacional. Em Setembro de 2005, em Setúbal, uma canalização de gás foi danificada durante obras relacionadas com a instalação de cabos de telecomunicações. Deste acidente resultaram três pessoas feridas, danos materiais (figura 1a) e uma reparação inesperada, o que resultou no incumprimento de prazos e no aumento dos custos. No início de 2006, ao Marquês de Pombal, em Lisboa, uma retro-escavadora atingiu uma conduta de abastecimento de água, provocando um agravamento do trânsito e o corte na distribuição de água (figura 1b). Os exemplos descritos apresentam incidentes correntes, que poderiam ter sido evitados se se conhecesse com exactidão a presença e posição das tubagens.

DESCRIÇÃO DO GPR E DO SEU MODO DE FUNCIONAMENTO BÁSICO

O GPR é uma técnica, não destrutiva, baseada na propagação e reflexão de energia electromagnética (ondas electromagnéticas ou ondas rádio) em interfaces entre materiais com propriedades dieléctricas diferentes. As frequências comumente usadas encontram-se no intervalo de 10 a 2.000 MHz, variando conforme a utilização seja de natureza geológica ou em engenharia. Actualmente, os sistemas de radar são normalmente constituídos pelos seguintes componentes: unidade de controlo, antena(s) de radar e unidade de visualização, sendo que a interacção entre esses elementos está ilustrada na figura 2. Daniels (2004) apresenta informações mais detalhadas sobre o sistema e o funcionamento dos vários componentes electrónicos.

Dependendo do objectivo da investigação, da situação em que se encontra

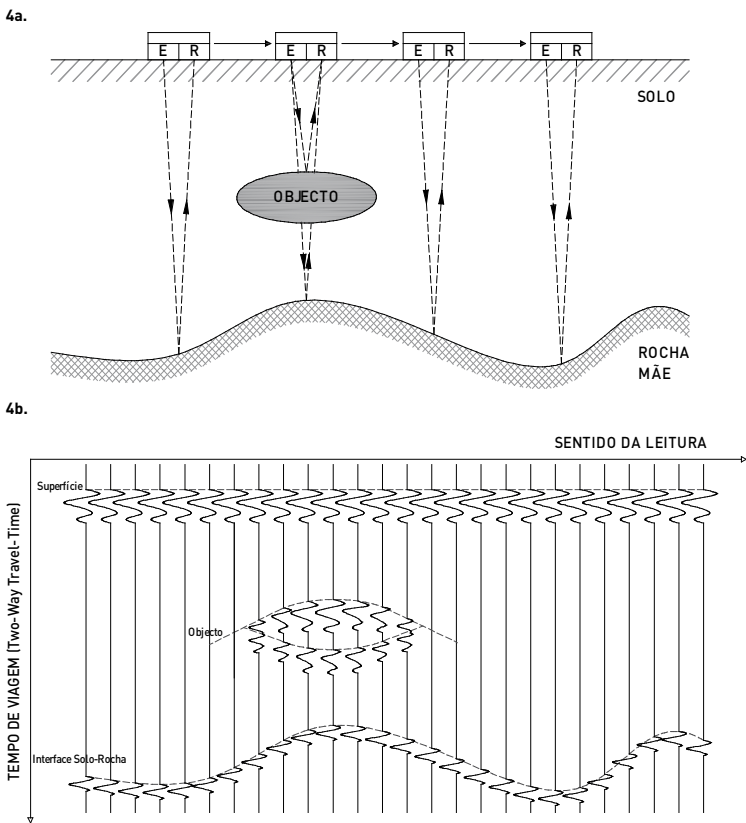
o local de prospecção e do tipo de dados disponíveis, pode-se utilizar o GPR em modo de reflexão, que é o método mais frequentemente utilizado, em modo de transmissão directa ou tomografia, e através do método Ponto Médio Comum (CMP do inglês *Common Mid-Point*). A figura 3 ilustra a realização de um ensaio em modo de reflexão com um sistema de georadar. A medição inicia-se pela emissão de impulsos electromagnéticos de alta frequência e curta duração. Ao atingirem a interface de materiais com propriedades dieléctricas distintas, parte da energia dessas ondas irá continuar a propagar-se, enquanto que outra parte é reflectida, sendo que essa proporção dependerá do contraste entre propriedades dieléctricas. A parcela reflectida é registada pela antena receptora e, após a transformar em impulsos eléctricos, os dados são digitalizados e recolhidos pela unidade de controlo, que os armazena na memória. Posteriormente, cada resposta é agrupada e filtrada para visualização no monitor. A figura 4 ilustra a aplicação *in situ* desta técnica.

Uma característica importante das ondas electromagnéticas é a sua velocidade de propagação. No ar, a velocidade é igual à velocidade da luz (30 cm/ns), porém, no solo e em materiais de construção correntes (betão armado ou alvenaria), propaga-se a uma velocidade mais baixa, geralmente, entre os 10 e 14 cm/ns. Outras duas características importantes são a profundidade de inspecção e a resolução, estando estas duas características directamente relacionadas com a frequência. As antenas de alta-frequência (> 1 GHz) permitem obter uma maior resolução (capacidade de distinguir objectos de pequena dimensão), mas possuem um alcance de leitura mais reduzido, devido à rápida absorção desse tipo de ondas por parte dos materiais (Forde, 2004). As antenas com uma frequência baixa (< 500 MHz) permitem inspecionar a maiores profundidades com uma resolução mais baixa.

DETECÇÃO DE TUBAGENS ENTERRADAS

A detecção de tubagens enterradas decorreu numa rampa do parque da Universidade do Minho, em Azurém, tal como se pode ver na figura 5. Na inspecção foram realizados 11 perfis longitudinais, espaçados de

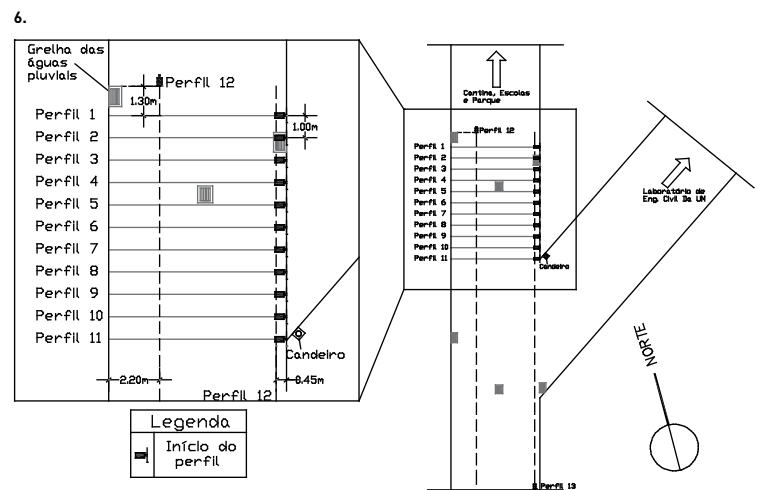
4. Construção de um radargrama: (a) recolha de dados em modo de reflexão e (b) radargrama resultante (simplificado)



5. Localização das leituras no local de ensaio E1 e direcção dos perfis



6. Posição dos perfis realizados no primeiro ensaio



1 m, e 2 perfis transversais (figura 6), com recurso a antena de 500 e 800 MHz. Com esta estratégia, pretendia-se obter dados suficientes para a reconstrução tridimensional do subsolo.

A título de exemplo, nas figuras 7 e 8, apresentam-se os radargramas obtidos com a antena de 800 MHz e 500 MHz, relativos ao perfil 9. Na figura 7, nota-se que a interface entre camadas é interrompida, o que leva a concluir que existia uma camada contínua no subsolo interrompida por uma escavação, derivada da colocação das tubagens. É também possível observar 3 parábolas, que não sendo únicas, aparecem nos diferentes perfis, pressupondo-se que se trata assim de um elemento com continuidade (tubagens). Na figura 8 também estão identificadas as parábolas que se repetem nos diferentes perfis. Com este radargrama conseguiu-se ainda identificar tubagens adicionais a uma maior profundidade, o que com a antena de 800 MHz não foi possível.

Após identificação das tubagens nos diferentes perfis, foi possível efectuar a reconstrução tridimensional do subsolo (figura 9) e comparar esta com o conhecimento do tipo de redes que deveriam existir no local. Assim, as tubagens que na Figura 9 estão nos extremos foram identificadas como sendo da rede de drenagem de água pluvial devido às tubagens estarem alinhadas verticalmente com as grelhas das câmaras de visita (visíveis à superfície) Figura 5. A tubagem relacionada com a rede de gás, foi a última a ser instalada no local, segundo informação fornecida pelos Serviços Técnicos da Universidade do Minho, e foi facilmente detectada através da identificação da zona escavada pelo radar. Para além disso, encontrava-se

à profundidade prevista no projecto, aproximadamente a 27 ns (1 m para uma velocidade aproximada de 7.5 cm/ns). Ao lado desta encontra-se a rede pluvial existente no eixo da via. O que corrobora essa hipótese é o seu alinhamento vertical com as grelhas do centro da via e a dimensão da parábola, bastante mais larga do que qualquer outra presente no radargrama (figura 8). Esta tubagem possui, na realidade, um diâmetro de 300 mm, sendo a maior presente no subsolo. Para finalizar, detectou-se uma tubagem de 150 mm para abastecimento de água, cuja localização era desconhecida, apenas se conhecendo a profundidade aproximada a que esta se encontrava (1 m).

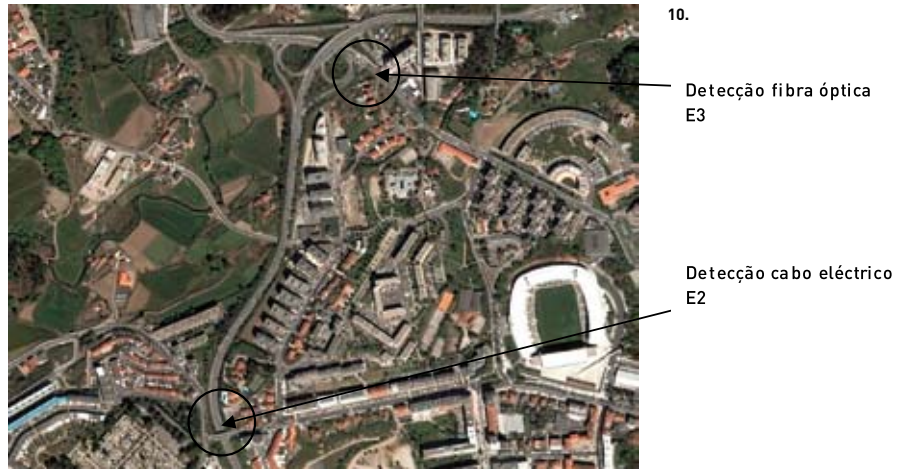
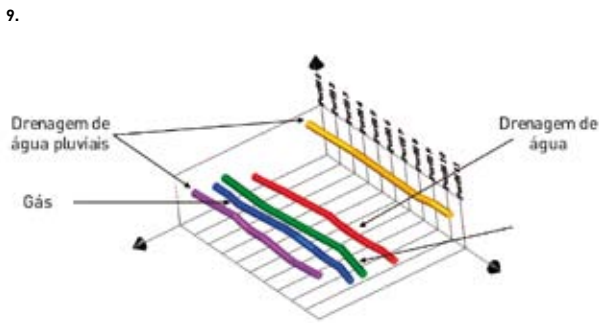
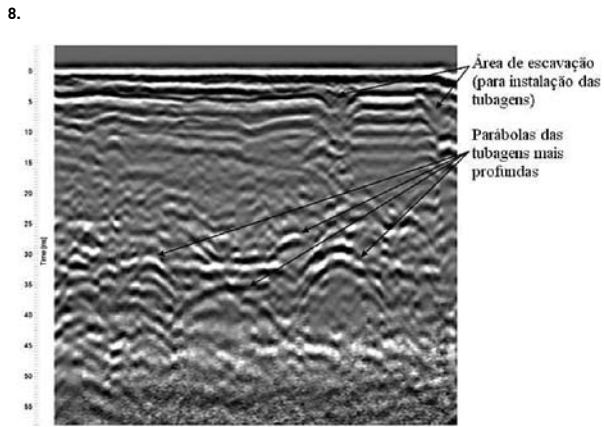
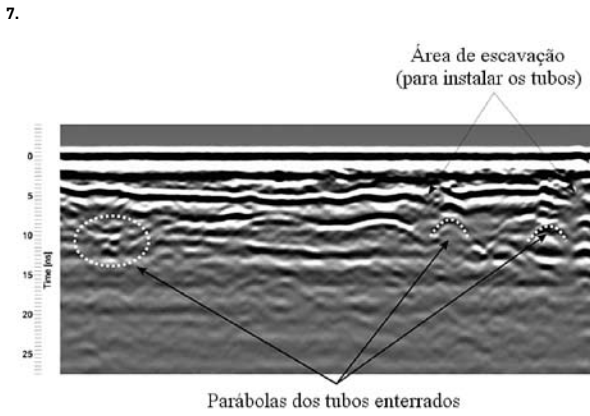
DETECÇÃO DE CABOS ELÉCTRICOS E DE TELECOMUNICAÇÕES

O georadar foi utilizado em dois pontos da circular de Guimarães para detectar infra-estruturas não cadastradas (figura 10). O primeiro local de inspecção (E2), está situado perto do viaduto na Rua de São Gonçalo, onde foi necessário determinar a localização de um cabo eléctrico que, supostamente, ligaria uma caixa eléctrica a um poste de electricidade, transversalmente à estrada, tal como ilustrado na figura 11. No segundo local (E3), situado numa via de acesso da circular à Rua da Nossa Senhora da Conceição e da estrada Nacional 101, foi necessário determinar a localização de um cabo de fibra óptica (Figura 12).

Os ensaios foram efectuados com uma antena de 800 MHz, sendo esta a frequência que permitia atingir a profundidade prevista para as redes com uma resolução elevada. No local E2 foi efectuado um único perfil

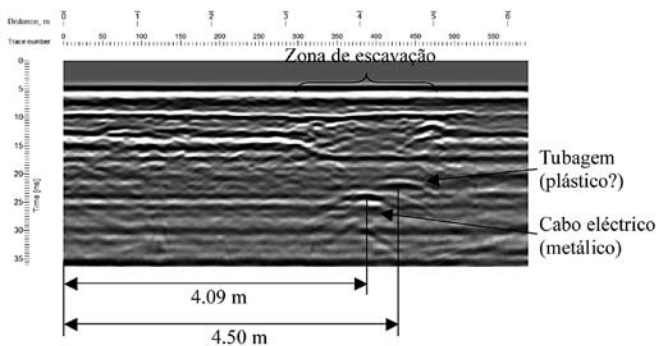
- 7. Radargrama realizado com a antena de 800 MHz
- 8. Radargrama realizado com a antena de 500 MHz
- 9. Representação tridimensional das infra-estruturas existentes no subsolo

- 10. Vista do local onde se realizou a inspeção
- 11. Localização dos perfis do ensaio E2
- 12. Localização dos perfis do ensaio E3



13. Interpretação do radargrama do ensaio 2

13.



perpendicularmente à direcção do objecto a detectar, maximizando o retorno de energia e assim, aumentando as hipóteses da sua detecção. No radargrama obtido neste ensaio, ilustrado na **figura 13** é possível identificar dois objectos: um a 4.09 m da origem, que corresponde ao cabo eléctrico pretendido, e um segundo sinal próximo, a cerca de 4.50 m do ponto da origem, que deverá ser de um material não metálico face às características do sinal do radar. A profundidade destes objectos é de 1.5-1.7 m. No ensaio E3 realizaram-se três perfis com configuração ilustrada na **figura 12**. Os radargramas ilustrados na **figura 14** mostram os diversos cabos/tubos que foram detectados nos perfis efectuados. Os eventos envoltos em círculos a traço interrompido correspondem todos ao mesmo objecto, que se será o cabo em fibra óptica, localizado a uma profundidade aproximada de 0.7-1.0 m (12 ns). Um segundo cabo foi detectado em dois radargramas, mas a uma profundidade menos elevada. Após posicionar os três perfis com rigor, e situando as hipérbolas detectadas nos respectivos radargramas, obteve-se o possível trajecto dos cabos de telecomunicações.

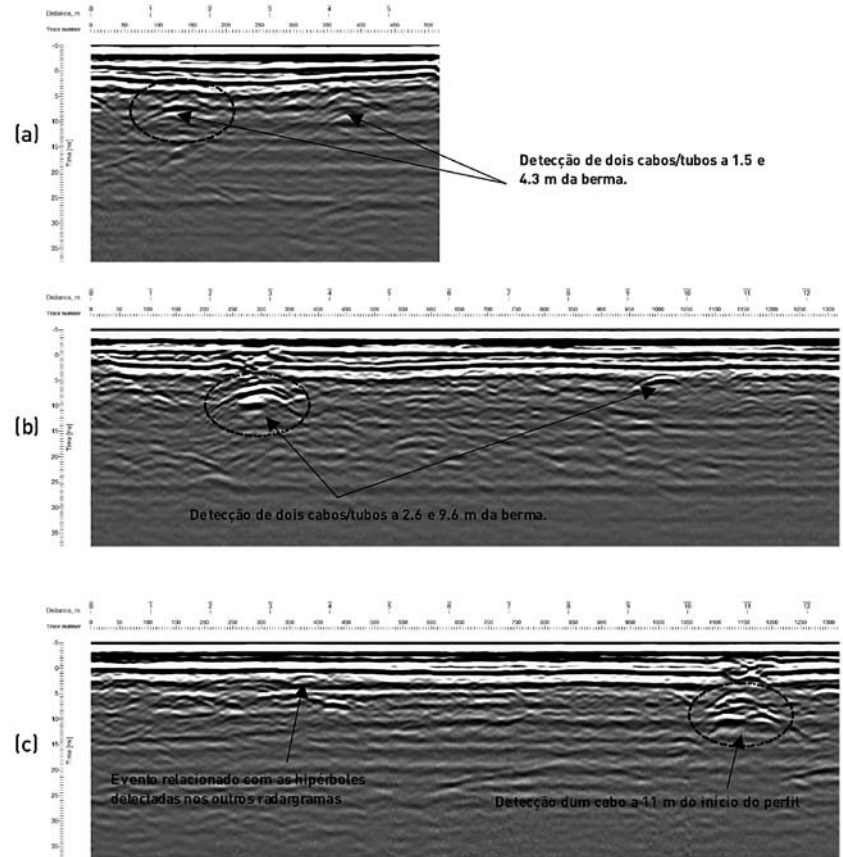
CONCLUSÕES

A inspecção com georadar permite detectar diversos tipos de infra-estruturas de redes de forma não destrutiva, sem inviabilizar o uso do local e sem danos para o património e pessoas. Demonstrou-se que esta técnica permite detectar um conjunto alargado de tubagens, cabos eléctricos e cabos de fibra óptica, de forma expedita e com uma pequena equipa de trabalho (1-2 pessoas).

A técnica de prospecção adoptada está amadurecida, tendo demonstrado excelentes resultados e pretendendo ser uma mais valia na preparação

14. Radargramas resultantes da inspecção no triângulo: (a) perfil 1, (b) perfil 2 e (c) perfil 3

14.



de trabalhos de escavação, ou na fiscalização/inspecção em qualquer fase da construção de obras de engenharia. Os custos de utilização estão associados a um preço elevado de aquisição de equipamento e à necessidade de recorrer a técnicos altamente qualificados para processar os resultados, sendo que os custos de inspecção são reduzidos quando comparados com as consequências do desconhecimento do subsolo (perda de vidas humanas, destruição e interrupção de serviços essenciais, etc.) ou com o valor global da obra a executar. Desta forma parece injustificável que o sector possa prescindir de inspecções preliminares ou adopte técnicas rudimentares tais como abertura de valas ou poços de inspecção, que para além dos inconvenientes gerados podem conduzir a danos nas redes existentes.

Francisco M. Fernandes é Engenheiro Civil, Investigador no Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Tecnowave – Tecnologia para ensaios não destrutivos, Lda.

Domingos J. Sousa é Engenheiro Civil, Tecnowave – Tecnologia para ensaios não destrutivos, Lda.

Paulo B. Lourenço é Engenheiro Civil, Professor Catedrático no Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho

NOTA

Os autores agradecem as facilidades concedidas pelos Serviços Técnicos da Universidade do Minho e pelo Departamento Técnico Local da Câmara Municipal de Guimarães para a realização deste trabalho. O primeiro autor agradece o financiamento parcial deste trabalho pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, através da bolsa de investigação POCTI 5FRH/BPD/26706/2005.

REFERÊNCIAS

- Buder, R. (1998). "The Invention That Changed the World: How a Small Group of Radar Pioneers Won the Second World War and Launched a Technological Revolution." Simon & Schuster.
- Daniels, D.J. (2004). "Ground Penetrating Radar – 2nd Edition." Radar, sonar, navigation and avionics series 15, IEE, London, UK.
- Dourado, J., Kiang, C., Malagutti Filho, W. (2003) "Utilização de radar de penetração no solo na detecção de estruturas artificiais rasas no solo" Geociências, UNESP, São Paulo, v. 22, p.75-81.
- Fernandes, F.M. (2006) "Evaluation of two novel NDT techniques: microdrilling of clay bricks and ground penetrating radar in masonry." Tese de Doutoramento, Universidade do Minho. Disponível em: www.civil.unimho.pt/masonry.
- Forde, M.C. (2004). "Ground Penetrating Radar." Proc., Introduction to Non-destructive Evaluation Technologies for Bridges Conference, Transportation Research Board, 20p.
- Lualdi, M., Zanzi, L., A new system to perform 3D GPR survey for utility mapping, Politecnico di Milano, Milano, Italy (2004).
- Reynolds, J.M. (2002) "An introduction to applied and environmental geophysics." John Wiley & Sons, Chichester.