
Técnicas de georadar em prospecção arqueológica: Ançã e S. Martinho de Árvore

CARLOS GRANGEIA*
MANUEL SENOS MATIAS**

R E S U M O As técnicas de georadar são muito expeditas, não destrutivas e não invasivas que permitem investigar o subsolo com elevada resolução e a pequena profundidade. A prospecção arqueológica beneficia da utilização destas técnicas que proporcionam imagens bidimensionais e tridimensionais da área a prospectar em condições e com resultados que não são proporcionados por outras técnicas geofísicas (magnética e resistividade eléctrica). Neste artigo, apresenta-se e discute-se a aplicação deste método e a interpretação dos dados de campo, à localização de cavidades em Ançã e sobre vestígios de ocupação romana em S. Martinho de Árvore.

A B S T R A C T GPR techniques are fast, non destructive and non invasive that allow high resolution shallow subsoil investigations. Archaeological surveys can beneficiate from these techniques since they provide high resolution bidimensional and tridimensional results of the survey area which are not given by other geophysical techniques (magnetic and electrical resistivity). Here it is presented and discussed the application and the interpretation of field GPR data, that is two case studies. The first in a karsified landscape environment for cavity location in Ançã (near Coimbra) and the other over roman remains in S. Martinho de Árvore (near Coimbra).

1. Introdução

A utilização dos métodos e técnicas de carácter multidisciplinar torna indispensável um aprofundamento de conhecimentos que abranjam um leque de disciplinas frequentemente fora da área estrita do utilizador final. Por isso, é necessário um leque alargado de conhecimentos com vista ao estabelecimento de pontes de entendimento científico-técnico e terminologia compreensível a todos os interessados.

RADAR é acrónimo para “RAdio Detection And Ranging”. O primeiro uso de ondas electromagnéticas para detecção de objectos soterrados é atribuído a Hulsmeyer numa patente alemã de 1904, que nos finais da década de 20 desenvolveu o pulso electromagnético na investigação de objectos soterrados. Os primeiros trabalhos de prospecção por georadar foram executados na Áustria em 1929 para determinar a profundidade de um glaciar. A partir da década 80 tornou-se

mais comum o seu uso particularmente em aplicações destinadas à engenharia e à comunidade arqueológica. As aplicações de georadar são frequentes em áreas da engenharia civil (por ex. detecção de vazios em maciços cársicos, avaliação de espessuras das várias camadas constituintes dos pavimentos de estradas), em áreas ligadas ao ambiente (por ex. detecção de plumas de contaminação e de cunhas salinas). Também são frequentes aplicações em Arqueologia, por exemplo, na detecção de níveis de ocupação antrópica, estruturas soterradas, de um modo geral na definição de zonas de potencial arqueológico (Reynolds, 1998).

As suas características tornam-no um método de elevado potencial na prospecção arqueológica (Senos Matias et al, 1995). De facto, o georadar além de ser expedito, não invasivo e não destrutivo, como outros métodos de prospecção geofísica, proporciona imagens bidimensionais e tridimensionais do terreno a prospectar com uma resolução muito superior à dos outros métodos.

As aplicações de georadar dependem da frequência central das antenas. Em aplicações de índole geológica, as frequências utilizadas são normalmente inferiores a 100 MHz; por outro lado as aplicações em engenharia, que podem necessitar de resolução muito superior, por vezes superiores a 2 GHz. Tem a resolução mais alta de qualquer método geofísico em mapeamento do subsolo, com resoluções menores que o centímetro no caso de antenas com frequência elevada.

As profundidades de investigação e a resolução do método dependem das propriedades eléctricas e magnéticas do meio atravessado. O índice de detectabilidade de objectos no solo está relacionando com o seu tamanho, orientação em relação às antenas, contraste entre os meios, ruído associado a radiofrequência e outras interferências.

A resolução depende do comprimento da onda electromagnética que se propaga no terreno e a profundidade de investigação pode variar desde menos de um metro, em terrenos muito argilosos, até quilómetros no gelo polar.

Um equipamento de georadar engloba um gerador de sinal, uma antena (modo mono-estático) que realiza as funções de emissão e recepção ou um par de antenas (modo biestático) com funções exercidas separadamente. O sinal obtido pode ser visualizado e gravado em sistemas próprios, sendo o mais comum o acoplado a um computador pessoal. Desta forma, é possível visualização no campo, pré-processamento e controle dos dados adquiridos.

O sistema gera um sinal electromagnético (sinal de input), cuja directividade depende do tipo de antena.

A cada posição de aquisição no perfil a investigar é associado um traço que representa a aquisição do sinal no tempo. O conjunto ordenado dos vários traços constitui um radargrama. A aquisição de dados no terreno pode ser realizada com várias disposições geométricas das antenas relativamente ao sentido de progressão. De uma forma geral, ambas as antenas podem ser paralelas, uma paralela e outra perpendicular e, por fim, ambas perpendiculares àquele sentido. A última é provavelmente a mais comum das geometrias de aquisição.

O pulso propaga-se no ar à velocidade da luz (0,3 metros/nanosegundos – m/ns) e no terreno a uma velocidade inferior. A forma do pulso depende de factores que vão desde o equipamento até efeitos externos como a acoplagem das antenas ao solo. O sinal emitido consiste numa ou várias repetições do mesmo pulso, aumentando a qualidade do sinal (razão sinal/ruído). A propagação de um sinal num meio heterogéneo origina reflexões e refacções (como um eco) que são detectadas pela antena receptora, ocorrendo maior atenuação nas altas-frequências. Este método é semelhante às aplicações tomográficas utilizadas em medicina.

Num radargrama reflexões provenientes de um mesmo corpo, por exemplo um muro soterrado, podem originar hipérbolos de difracção. Recorrendo a um excerto de um radargrama, a Fig. 1 mostra esquematicamente a formação destas hipérbolos.

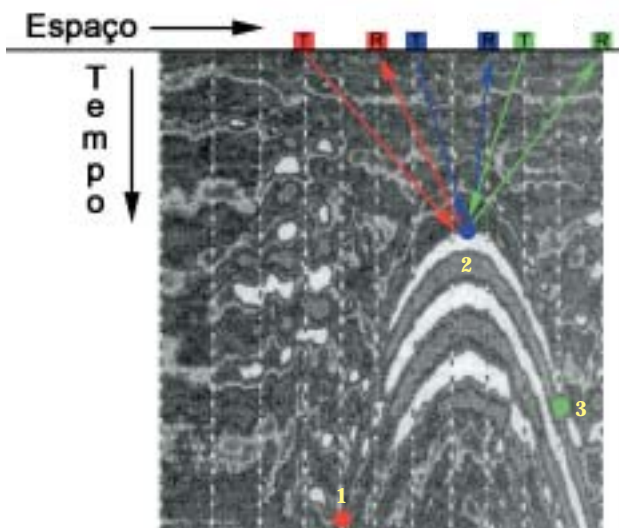


Fig. 1 Formação de um evento denominado de hipérbole de difracção.

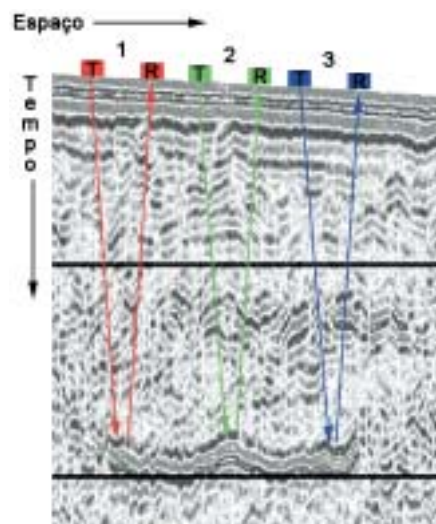


Fig. 2 Assinatura de um evento relacionado com um reflector (nível) horizontal.

À medida que o dispositivo de aquisição progride no terreno o tempo de ida-e-volta da onda electromagnética na posição de aquisição 1 é maior que na posição de aquisição 2 e 3. De 1 para 2, observa-se o encadeamento dos vários traços e o evento devido ao corpo difractor posiciona-se a tempos sucessivamente menores. O ponto vermelho no radargrama, correspondente ao tempo de ida-e-volta do pulso (setas vermelhas). O ponto azul posiciona-se sobre o corpo difractor e é o menor tempo de ida-e-volta do pulso, ou seja o tempo mais curto de todos os traços amostrados. À medida que o equipamento de aquisição se afasta da vertical do corpo difractor observa-se um aumento do tempo de ida-e-volta do pulso (setas verdes). O posicionamento do evento no traço da posição 3 corresponde a um tempo intermédio entre as posições 1 e 2.

Quando as estruturas são horizontais, como por exemplo estratos de ocupação, não se observam hipérbolas de difracção e os eventos são identificados como reflectores horizontais. O radargrama da Fig. 2 mostra a assinatura de um reflector horizontal, durante a progressão do sistema. O tempo de ida-e-volta do pulso para a posição 1 é próximo do tempo para as posições 2 e 3.

A capacidade de discernir vários eventos no subsolo, resolução, depende da velocidade de propagação no meio e do comprimento de onda do pulso. Por sua vez, a velocidade de propagação depende das propriedades eléctricas e magnéticas do meio atravessado. À medida que o pulso se propaga observa-se uma diminuição de energia, atenuação, devido ao maior volume de terreno atravessado e a perdas intrínsecas que resultam de cargas ou partículas em movimento. As propriedades electromagnéticas dos materiais dependem da frequência do pulso e a atenuação aumenta com a frequência.

A aquisição e processamento de dados em geo-radar lida com informação discreta que varia no tempo e no espaço. Portanto, cada trajecto de ida-e-volta do sinal, tem de ser registado digitalizado. Ou seja, cada sinal (traço) vai ser amostrado em intervalos de tempo regulares (taxa de amostragem). O comprimento do traço, tempo de amostragem, é função da profundidade de investigação pretendida e da velocidade de propagação do pulso.

Os dados adquiridos no campo raramente revelam a informação pretendida na sua plenitude. Por isso, é vulgar recorrer a procedimentos físico matemáticos complexos denominados processamento de sinal, que se ajustam caso a caso.

Assim é possível seleccionar e separar casuisticamente a informação disponível.

2. O caso de Ançã

Realizou-se uma campanha em Ançã com o objectivo de investigar a existência de cavidades e definir os seus contornos, em ambiente carsificado. A planta de localização encontra-se na Fig. 3.

Realizaram-se perfis paralelos de Georadar, intervalados de 0,5 m e com 39 m de comprimento. Desta forma, obteve-se uma grelha regular que permite encontrar eventos nos diferentes radargramas com relação lateral lógica e intuitiva, tornando a interpretação mais consistente e sólida.

Os parâmetros de aquisição de dados de georadar foram estabelecidos após um rápido teste de campo. Utilizaram-se antenas não blindadas com frequência de 100 MHz, o sinal foi empilhado em conjuntos de 64 pulsos por traço, a taxa de amostragem foi de 800 picosegundos (pcs), tempo de amostragem de 250 ns e medidas de 10 cm em 10 cm, amostragem espacial, em cada perfil.

A Fig. 4 mostra o equipamento de controlo e aquisição, a Fig. 5 mostra as antenas não blindadas de 100 MHz em operação.

Nas Figs. 6 a 12 estão representados os radargramas após um processamento adequado do sinal e com apresentação gráfica (amplitude normalizada) que facilita a interpretação dos mesmos em termos das estruturas de interesse arqueológico esperadas.

A principal zona anómala encontra-se assinalada por uma transparência de cor vermelha e é definida por várias hipérbolas de difracção, embora de perfil para perfil evidencie assinaturas diferenciadas. Esta anomalia posiciona-se entre os 8 e os 12 m do início dos vários perfis, inicia-se aos 2 m de profundidade e evolui lateralmente aumentando a secção interpretada.

A conversão tempo-profundidade foi realizada por ajuste de velocidades a partir das hipérbolas de difracção nos radargramas.

A localização interpretada da referida zona está em concordância com a informação proveniente dos dados arqueológicos. Outros zonamentos de menor importância podem ser definidos, por exemplo, o enchimento da caixa de estrada (acima da linha verde) ou a presença de outras hipérbolas de difracção com alguma continuidade lateral (zonamento a azul), indicadoras da possível presença de cavidades.

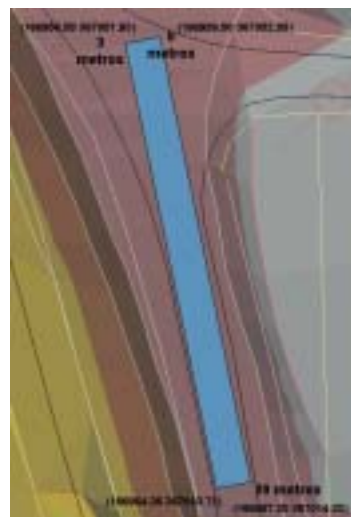


Fig. 3 Área de prospecção (azul) por georadar em Ançã.



Fig. 4 Consola de controlo e respectivo Laptop.



Fig. 5 Antenas de 100 MHz não blindadas do PulseEKKo IV (Sensors&Software).

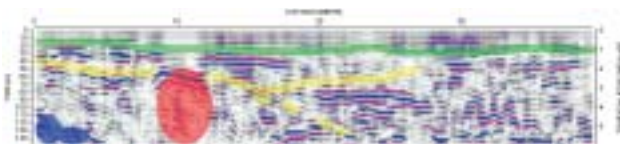


Fig. 6 Radargrama - Perfil 1.

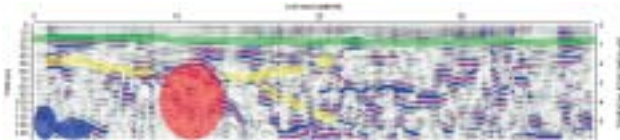


Fig. 7 Radargrama - Perfil 2.

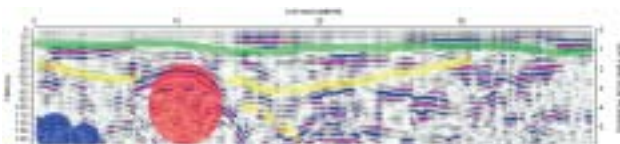


Fig. 8 Radargrama - Perfil 3.

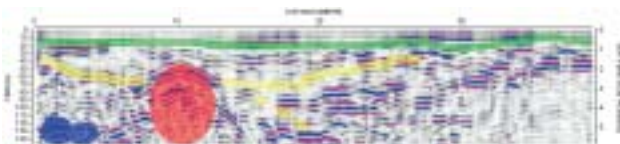


Fig. 9 Radargrama - Perfil 4.

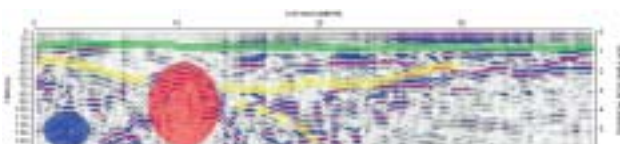


Fig. 10 Radargrama - Perfil 5.

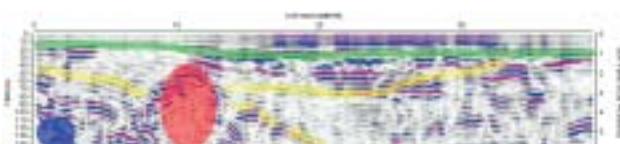


Fig. 11 Radargrama - Perfil 6.

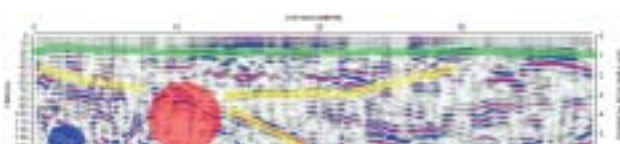


Fig. 12 Radargrama - Perfil 7.

Da análise conjunta dos radargramas das Figs. 6 a 12 é clara a localização e evolução espacial de uma cavidade importante cujo interesse arqueológico deve ser investigado.

3. O caso de S. Martinho de Árvore

A área estudada está localizada numa pista de motocross e apresenta abundantes vestígios de origem antrópica da época romana. Selecionou-se uma subárea para prospecção geofísica numa zona que apresentava um potencial superior a partir de análise arqueológica prévia aos vestígios superficiais.

Foi definida um rectângulo com 9 m de largura por 35 m de comprimento (315 m²) tendo-se materializado no terreno uma grelha de perfis paralelos entre si a afastados de 1 m (Fig. 13).

A campanha de georadar utilizou o mesmo equipamento de Ançã, tendo-se agora optado por antenas não blindadas de 200 MHz. Deste modo, os parâmetros de campanha sofreram modificações pois a profundidade a investigar era inferior. Utilizou-se um tempo de amostragem de 200 ns. O sinal foi empilhado em conjuntos de 128 pulsos por traço, o que permite melhorar a qualidade do sinal necessária à detecção de objectos de menor dimensão que a cavidade em Ançã. Os outros parâmetros de aquisição mantiveram-se inalterados relativamente ao caso anterior.

As Figs. 16 a 25 mostram radargramas processados. Devido à utilização de uma frequência mais elevada os radargramas são mais pormenorizados. Desta forma, obtém-se mais informação e a interpretação é dificultada pelo carácter mais descontínuo do radargrama.

Nos radargramas são evidentes várias anomalias de carácter sub-horizontal, marcadas a amarelo, que podem corresponder a estratos arqueológicos. Estas assinaturas repetem-se espacialmente sugerindo uma ampla área a investigar.

Além daquelas anomalias, surgem outras correspondentes a hipérbolas de difracção, embora menos pronunciadas que no caso de Ançã, que sugerem a presença de várias objectos/estruturas de dimensões e continuidade inferiores. Como exemplo, marcam-se a azul anomalias nos radargramas da Figs. 23 a 25.



Fig. 13 Planta de localização da campanha de georadar em S. Martinho de Árvore (Pista de motocross).

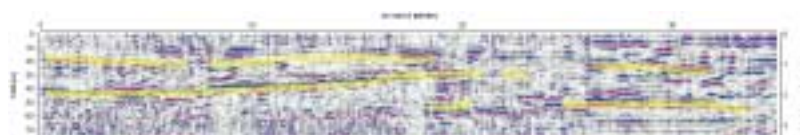


Fig. 14 Radargrama – Perfil 1.



Fig. 15 Radargrama – Perfil 2.



Fig. 16 Radargrama – Perfil 3.



Fig. 17 Radargrama - Perfil 4.



Fig. 18 Radargrama - Perfil 5.



Fig. 19 Radargrama - Perfil 6.



Fig. 20 Radargrama - Perfil 7.



Fig. 21 Radargrama - Perfil 8.



Fig. 22 Radargrama - Perfil 9.



Fig. 23 Radargrama - Perfil 10.

4. Conclusões

O método abordado permite uma rápida identificação das zonas anómalas em perfis bidimensionais, proporcionando uma efectiva imagem do terreno em profundidade, após aquisição de dados em campo, quando a complexidade dos dados é baixa ou o objecto alvo é fácil de observar.

Quando a complexidade é maior, as correlações laterais são de importância vital e o processamento de sinal elaborado e respectiva interpretação são fundamentais para o sucesso deste tipo de metodologia.

Com uma equipa de três pessoas rotinadas foi possível realizar trabalho de campo em Ançã e S. Martinho de Árvore em dois dias úteis. O trabalho de processamento de sinal e interpretação é normalmente três a quatro vezes o tempo necessário ao trabalho de campo. Contudo, este tempo, pode ser encurtado com informações prévias de natureza arqueológica.

Como apontamento final, tem de se referir que o método de georadar apresenta uma relação esforço/informação obtida muito superior aos tradicionais métodos de resistividade eléctrica e prospecção magnética.

5. Agradecimentos

Os autores deste trabalho desejam publicamente agradecer às justas de Freguesia de S. Martinho de Árvore e de Ançã e aos nossos colegas e amigos António Monteiro e Carlos Cruz, sem os quais este trabalho não seria possível.

NOTAS

* cgrangeia@geo.ua.pt
Departamento de Geociências
Universidade de Aveiro
3810-193 Aveiro
Portugal

** mmatias@geo.ua.pt
Departamento de Geociências
Universidade de Aveiro
3810-193 Aveiro
Portugal

BIBLIOGRAFIA

- MATIAS, M. S. [et al.] (1995) - Geophysical Investigations inside the "Casa do Infante", Oporto, Portugal. In Proceedings of the 1st Meeting Environmental and Engineering Geophysics Society, European Section, Torino, Italy. 25-27 settembre, Torino, p.493-494.
- REYNOLDS, J. M. (1998) - *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Willey & Sons.
- SIGURDSSON, T. (1993) - *Ground-Penetrating georadar for Geological Mapping*. Aarhus: Department of Earth Sciences, Aarhus University.