

## Georadar

Desde meados da década de 1980 que o *georadar* (GPR – *Ground Penetrating Radar*) se tem tornado bastante popular, particularmente no seio das comunidades de engenharia e arqueologia.

As aplicações do georadar podem ser divididas em duas classificações que se baseiam sobretudo nos intervalos de frequências usados pelas antenas. Para aplicações geológicas, onde a profundidade de penetração tende a ser mais importante que uma resolução fina (capacidade de distinguir corpos diferentes com dimensões reduzidas), são utilizadas antenas que operam com frequências inferiores a 500 MHz. Para aplicações típicas de engenharia, ou mesmo geológicas em que o interesse esteja sobretudo centrado nas camadas superficiais do solo e onde se pretende ter uma grande resolução espacial, utilizam-se antenas com frequências típicas entre 900 MHz e os 1- 4 GHz.

### 1. Princípios do funcionamento

Um sistema de georadar consiste num gerador de sinal, uma antena de transmissão e outra de recepção, e um receptor que, quase todos hoje em dia, tem capacidades de gravação digital.

Os componentes básicos do sistema estão representados na figura abaixo. A antena de transmissão (Tx) gera um trem de ondas na banda das radio-frequências que se propagam a uma velocidade de (no ar) 300 000 km/s, ou 0,3 m/ns.

FIG 12.1

O tempo de percurso da onda, desde o instante da transmissão até ao subsequente regresso e detecção pela antena de recepção (Rx), é da ordem de algumas dezenas a milhares de nanosegundos ( $1 \text{ ns} = 10^{-9}$  segundos). As antenas podem ser usadas no que se designa pelos modos *mono-estático* e *bi-estático*. O primeiro refere-se à situação em que apenas uma antena é utilizada tanto para emissão como para recepção. No segundo caso são usadas duas antenas separadas, em que uma serve de emissor e a outra de receptor. Nesta última configuração pode-se fazer variar a distância entre as duas antenas, permitindo assim medições de reflexão de grande ângulo e mesmo refração.



Dois exemplos de georadares to tipo *mono-estático*

## 2. Propagação da radiação

As propriedades electro-magnéticas dos materiais estão relacionadas com a sua composição e com o seu conteúdo em água. Ambos os factores exercem o controlo principal sobre a velocidade de propagação e sobre a atenuação das ondas e.m. através dos vários materiais.

A velocidade das ondas e.m., em qualquer meio, depende da velocidade da luz no vazio ( $c = 0,3 \text{ m/ns}$ ), da constante dieléctrica relativa ( $\epsilon_r$ ) e da permeabilidade magnética relativa ( $\mu_r = 1$  para materiais não magnéticos).

A velocidade de propagação de uma onda e.m. num dado material ( $V_m$ ) é dada por

$$V_m = c / \left\{ (\epsilon_r \mu_r / 2) \left[ (1 + P^2) + 1 \right] \right\}^{1/2}$$

Onde  $c$  é a velocidade da luz no vácuo,  $\epsilon_r$  é a constante dieléctrica relativa e  $\mu_r$  é a permeabilidade magnética relativa.  $P$ , que se designa por factor de perda, é dado por  $P = \sigma / \omega \epsilon$ , onde  $\sigma$  é a condutividade,  $\omega = 2\pi f$ ,  $\epsilon$  a permissividade  $= \epsilon_r \epsilon_0$   $\epsilon_0$  a permissividade do vazio ( $8.84 \times 10^{-12}$  F/m). Em materiais com “poucas perdas”  $P \approx 0$  e a velocidade das ondas será então  $V_m = c / \sqrt{\epsilon_r} = 0.3 / \sqrt{\epsilon_r}$

O sucesso do uso do georadar assenta assim na variabilidade que o solo apresentar no que respeita à velocidade de transmissão de ondas e.m. Alguns materiais, tais como os gelos polares, são praticamente transparentes ao radar. Outros, tais como argilas saturadas de água e a água salgada, absorvem e reflectem de tal maneira as ondas que são virtualmente opacos ao radar. É o contraste do valor da constante dieléctrica relativa entre camadas adjacentes que provoca a reflexão da radiação electro-magnética incidente. Quanto maior for esse contraste, maior será a quantidade de energia reflectida.

Tal como ocorre para outras ondas electro-magnéticas, a profundidade para a qual a amplitude decresce para um valor de  $1/e$  (ou seja, 37%) do seu valor inicial é conhecida por profundidade de pele ( $\delta$ ) e esta é inversamente proporcional a um factor de atenuação (*i.e.*  $\delta = 1/\alpha$ ). A definição matemática (quando o factor de perda é consideravelmente inferior a 1) de  $\delta$  é dada por  $\delta = (5.31 \sqrt{\epsilon_r}) / \sigma$ . Substituindo para valores típicos de água salgada, obtém-se que a profundidade de pele vale apenas 1 cm, e para argilas molhadas 0.3 m. Assim, quando uma rocha seca (ou um solo) é encontrada, o termo da condutividade decresce substancialmente e por consequência a profundidade de pele aumenta, levando a que uma muito maior penetração seja alcançada. Note-se no entanto que a profundidade de pele não é o mesmo que a profundidade de penetração do radar. Para determinar o alcance do radar têm que ser levados em conta não só factores instrumentais, mas, sobretudo, os factores relacionados com a atenuação do sinal devidos a perdas provocadas por difusão e abertura angular do feixe de radar (a mesma quantidade de energia vai-se espalhar por uma superfície que é proporcional a  $1/r^2$ ).

## 3. Aplicações e casos de estudo

A figura abaixo mostra um exemplo bem representativo de como um radargrama pode revelar a estrutura estratigráfica de um dado local. Nesta figura, o radargrama de cima foi

efectuado em 1970 e é uma cópia de um registo analógico, enquanto que em baixo se respresenta um radargrama efectuado recentemente, mas com registo digital. As diferenças são óbvias.

FIG. 12.18

Existem situações onde o topo de um nível freático é detectável num radargrama e outras onde tal não é possível. A razão para isto deve-se ao facto de que o quociente entre a espessura da camada de capilaridade e o comprimento de onda da radiação incidente tem que ser pequeno, de modo a que exista um contraste suficientemente grande da constante dielétrica relativa entre o material saturado e não saturado de água. Nestas condições uma parte significativa do sinal é reflectido para a superfície.

O georadar também pode ser utilizado em estudos de contaminação de águas subterrâneas. Na figura seguinte está representado um radargrama efectuado nas emediações de uma lixeira. Ao longo do perfil de radar, o solo é constituído por uma camnada de areia fina com uma espessura aproximada de 20 m.

Té onde as ondas de radar conseguem penetrar nos sedimentos superficiais podem-se ver várias camadas reflectoras que se pensa serem devidas a horizontes de diferentes densidades e diferentes dimensões dos grãos de areia e, por consequência, com um conteúdo em humidade variável. Também é muito claro nesta secção que existem áreas onde as reflexões são muito fracas (na posição 150 m e a 400 ns) ou o sinal é completamente atenuado. A presença de contaminação, que terá associada uma conductividade eléctrica elevada, atenua fortemente os sinais do radar.

Neste estudo foram também efectuados vários furos ao longo da linha do radar e as amostras de água colhidas foram analizadas em termos de conductividade. A linha a cheio que liga os pontos na figura indica a posição abaixo da qual a conductividade da água é superior a 10 mS/m. É evidente que a pluma de contaminação se aproxima da superfície entre os 40 e 60 m ao longo do perfil (tal como também foi provado pelos dados dos furos) e também se estende entre os 110 e 150 m a uma profundidade de cerca de 6 m.

Onde se demonstrar que os levantamentos de georadar podem ser uteis para detectar plumas de contaminação, então as variações dessas plumas de poluição podem também ser mapeadas. Basta para isso efectuar sucessivos levantamentos ao longo de um mesmo perfil e detectar assim variações ao longo do tempo. Para além disso, onde tiverem sido tomas medidas paleativas, o sucesso destas pode ser monitorizado pelo uso do georadar.