

RADAR DE PENETRAÇÃO PROFUNDA
FERRAMENTA DE INVESTIGAÇÃO INDIRETA DE ALTA RESOLUÇÃO À
SERVIÇO DAS ENGENHARIAS

Geólogo Dr. Fernando Augusto Saraiva

Introdução

Os métodos geofísicos são conhecidos por serem ferramentas de investigação indiretas da subsuperfície, com excelente relação custo / benefício ,fornecendo subsídios para a engenharia tanto para obras civis quanto na prospecção mineral e estudos ambientais, de forma rápida e não invasiva.

São frequentemente utilizados para a determinação da profundidade do topo rochoso e da zona saturada, detecção de caminhos preferenciais de fluxo subterrâneo, investigação de estruturas de barragens, mapeamento de litotipos e depósitos minerais, falhas,fraturas, detecção de cavidades, mapeamento de plumas de contaminação, além da localização de objetos e interferências enterradas.

Entre os métodos frequentemente utilizados, destaca-se o georadar ou radar de penetração no solo (GPR) tanto pela rapidez da execução quanto pelo nível de detalhe dos resultados, fornecendo informações precisas sobre camadas e materiais no subsolo até cerca de dez metros de profundidade, sob boas condições.

Sua metodologia de investigação se fundamenta na emissão e recepção, por reflexão, de ondas eletromagnéticas de alta frequência (10 a 2000 MHz) da subsuperfície. A gama específica de frequências registradas vai depender do par de antenas e da eletrônica que gera o sinal. O funcionamento do método de georadar baseia-se na seguinte sistemática: um pulso (onda) de energia eletromagnética é irradiado para o interior do solo por uma antena transmissora (**TX**), a energia refletida é captada pela antena receptora (**RX**), sendo o sinal amplificado, formatado, armazenado e apresentado na tela de um computador ou console de controle.

As reflexões da onda eletromagnética na subsuperfície ocorrem nas interfaces de materiais com diferentes propriedades dielétricas, ou seja, em contrastes de impedância eletromagnética. A propriedade física envolvida neste fenômeno é a permissividade elétrica, que é expressa pela constante dielétrica “K”.

Os radares fornecem radargramas ou seções contínuas (**Figura 1**) em tempo real indicando a distância percorrida x profundidade dos perfis executados em campo, proporcionando o imageamento de alta resolução das estruturas ou feições em subsuperfície. A frequência de operação é escolhida de modo a fornecer a melhor relação entre a penetração e a resolução para um determinado objetivo, sendo que a maioria dos sistemas existentes no mercado pode operar em várias frequências.

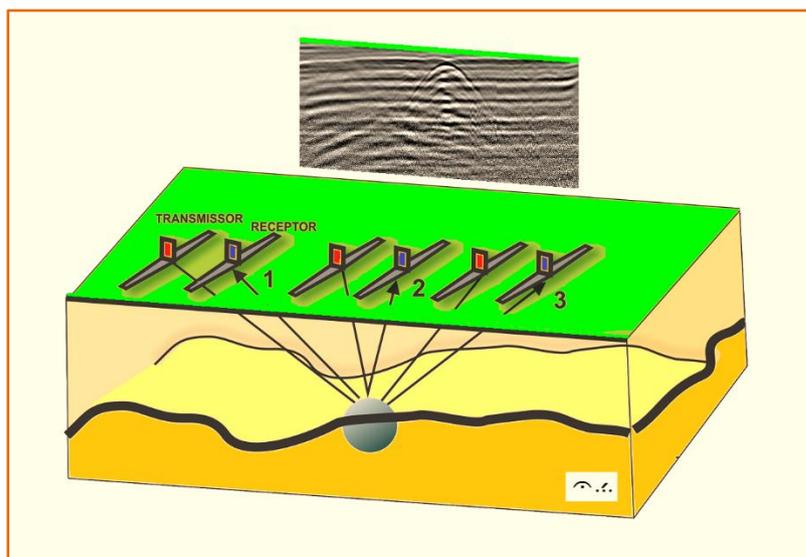


Figura 1 - Funcionamento do georadar na detecção de objeto enterrado e radargrama resultante com hipérbole característica do resultado. (Fonte: Bastianon).

A penetração do pulso dos radares usuais ou “rasos” no interior do solo é limitada fundamentalmente pela condutividade elétrica do terreno. Ondas de radar que se considera de baixas frequências, entre 10 a 200 MHz, apresentam maior profundidade de penetração. No entanto as frequências mais altas, situadas no intervalo de 300 a 1000 MHz, apresentam maior resolução. Durante os levantamentos de campo, pode-se adequar o equipamento às

condições locais, dependendo da finalidade a ser alcançada, considerando um compromisso entre a profundidade investigada e as dimensões do objetivo.

Radar de Penetração Profunda – DPR

Em vista dos excelentes resultados obtidos com os georadares ditos “rasos”, criou-se uma demanda para desenvolvimento de radares aumentando sua profundidade de penetração, a fim de satisfazer as necessidades da geologia/ engenharia para investigação com grande resolução para camada subsuperficial de 100 a 200 m. O modo para conseguir uma penetração profunda considerou o aumento da potência do transmissor, eficiência das antenas, sensibilidade do receptor, bem como a redução do nível de ruído. Todas essas idéias têm sido implementadas em uma série de radares com potência aumentada da série Loza ®.

Visando alterar esta limitação de profundidade, trabalhos de pesquisa iniciaram-se na Rússia nos anos 90, relacionados à missão espacial planejada Mars94. O principal desafio consistia em alcançar a profundidade de penetração máxima dentro das limitações estritas considerando o tamanho do hardware e o peso, condições essenciais para serem utilizáveis em satélites artificiais sobre Marte. Como os modelos GPR existentes não garantiam as características exigidas, os engenheiros envolvidos optaram por alterar o princípio de construção para aumentar a gama do sinal de radar.

Como resultado, uma série de Radares de Penetração Profunda (DPR), também conhecido como método de sondagem por pulso eletromagnético (MPEP) foram produzidos e testados na Rússia. A principal característica distintiva do DPR é a acumulação de energia em um pulso curto transmitido com elevada tensão ao invés do sinal recebido por um processamento repetitivo estroboscópico dos radares comuns ou rasos.

Os resultados já foram amplamente comprovados e difundidos, com diversos artigos publicados em revistas internacionais de destaque. Os modelos atuais, com transmissores de elevada potência e antenas de 15 a 25 MHz têm permitido investigação em diversas áreas pelo mundo em profundidades de até 250m. Atualmente está em desenvolvimento um

transmissor de altíssima potência e antena de baixa frequência que permitiram, nos resultados preliminares, atingir até 350m de profundidade com alta resolução.

Tal como o GPR comum, o DPR consiste em três módulos principais (**Figura 2**): antena com transmissor e antena com receptor, sendo esta ligada por cabo à unidade de controle e armazenamento dos dados. Ao contrário de boa parte dos GPR ou radares “rasos”, o DPR não necessita um computador de campo para controlar e armazenamento, sendo os dados acumulados na unidade central. O sinal refletido é recebido e registrado, sendo então transformado em sinal digital. Os dados são então exportados para análise pelo software especial geofísico KROT®. A escolha do impulso emitido é definida pela profundidade necessária de investigação e resolução adequada ao alvo.



Figura 2 - Equipamento DPR em uso no Brasil, observando-se as antenas junto ao solo.

O operador visualiza o perfil com dados brutos na unidade de controle à sua frente.

A tecnologia de medição baseia-se nos princípios de pulso eletromagnético de alta intensidade no meio e a gravação do campo de gerado em um intervalo de tempo de nanossegundos. O princípio da transmissão e

recepção sem contacto direto se dá com a utilização de capacitores de alta potência. Isto torna possível, com a configuração básica do modelo em uso no Brasil, investigar o meio em um ponto a cada segundo em profundidades até 100 a 120 metros com resolução vertical de 1-8 ns, a depender da geologia do local. Além disso, com a parceria estabelecida com pesquisadores e consultores do exterior, pode-se rapidamente obter upgrade que permitiria investigar em detalhe até 250m.

Além dos diversos resultados presentes em publicações especializadas pelo mundo, os resultados obtidos pelo autor e seus parceiros mostram-se surpreendentes. Por exemplo, no estudo do aterro de resíduos de Ilhabela, SP efetuado por solicitação da FDTE - Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia, foi possível mapear a espessura da camada de resíduos com precisão acima de 95%, confirmado por sondagens mecânicas posteriormente executadas (**Figura 3**).

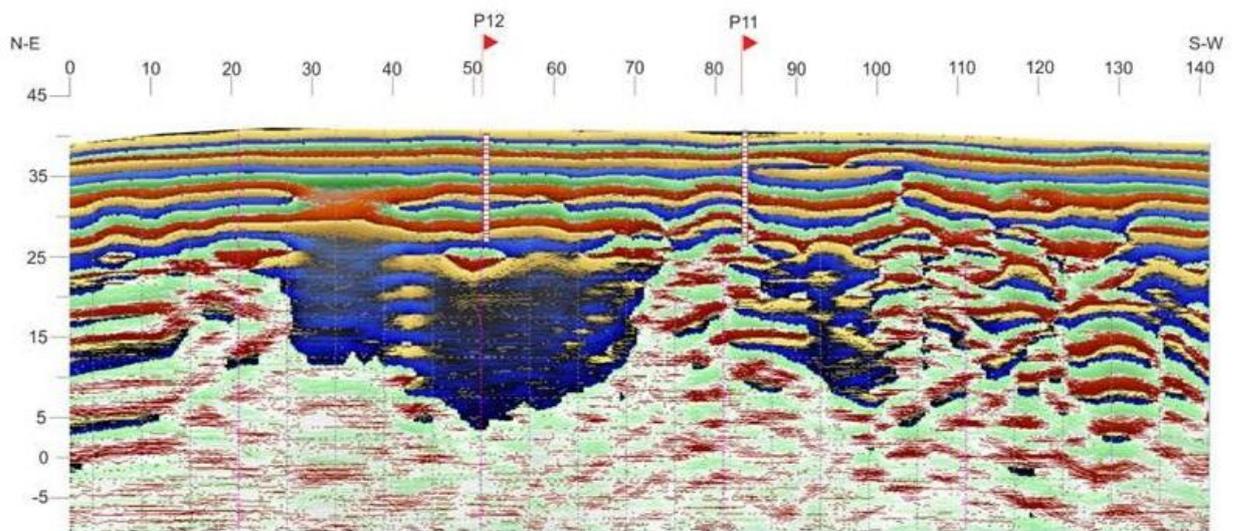


Figura 3 – Resultado DPR no depósito de resíduos de Ilha Bela e comparação com resultados de sondagens diretas.

Em outra aplicação do equipamento foram feitos estudos para identificação de vazios ou zonas com possíveis ocorrências de carsts em duas

áreas com projetos de edificações de grande porte sobre terrenos calcários. Dois resultados mostram bem a aplicação e excelentes resultados.

No primeiro caso estudado (**Figura 4**), foi feita comparação dos resultados obtidos pelo método DPR comparativamente ao uso do método sísmico, historicamente utilizado em projetos de grandes obras civis.

Enquanto a sísmica possibilita obter informações baseadas nas velocidades de onda sobre os materiais, dividindo o substrato em três camadas com diferentes compactações e dificuldade para escarificação / escavação, o DPR permite entender toda a complexidade do substrato, indicando as camadas geológicas, direção e localização de fraturamentos, zonas saturadas e principalmente as áreas com desenvolvimento de carsts.

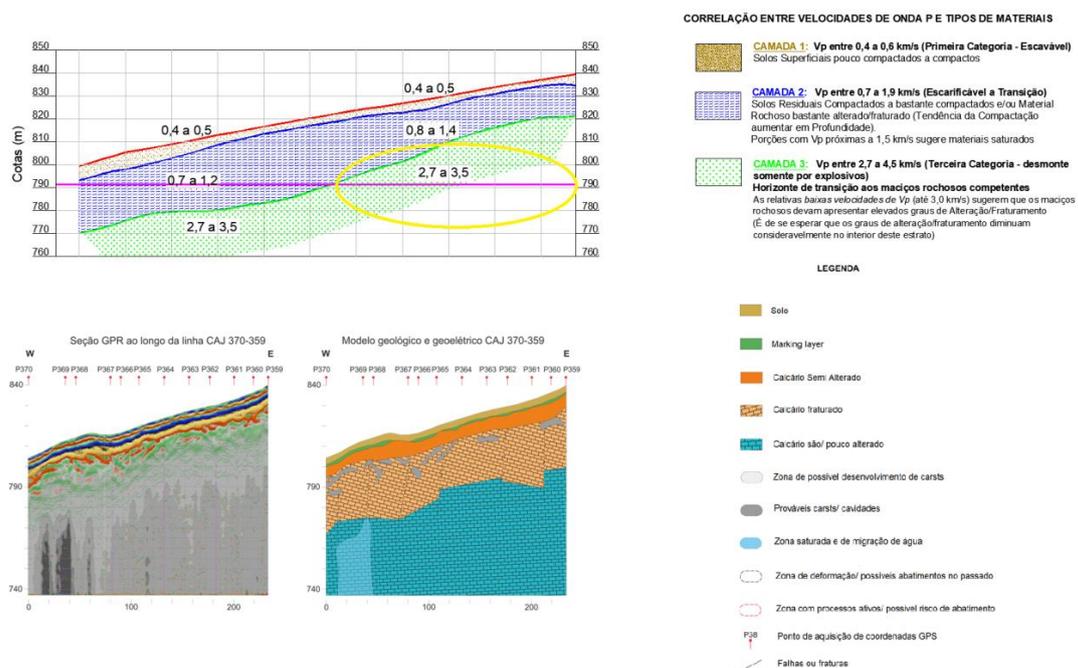


Figura 4 - Comparativo entre os resultados obtidos pelo método sísmico com o obtido com uso do DPR no mesmo perfil executado.

Na segunda área estudada na mesma região, foi feita uma correlação entre os resultados obtidos com uso do DPR com dezenas de sondagens. O índice de assertividade do método DPR para o mapeamento de carsts ou zonas de risco, teve média de 78%, considerando que o universo de estudo abrangeu 39 perfis de DPR distribuídos por toda a área e mais de 200

sondagens por método percussivo em solo (sondagens à percussão), eventualmente complementado por método rotativo em rocha (sondagens mistas).

Em outra área investigada em Portugal, o objetivo foi a determinação da localização de galerias antigas e túneis em área de mineração da época romana. Com o uso deste equipamento foi possível determinar a localização precisa de túneis e vazios com cerca de 1,5 m de largura em profundidades de até 100 metros (**Figuras 5 e 6**) além da determinação de zonas de colapso ativas ou pretéritas próximas à superfície e que estão provocando rachaduras e abatimentos em imóveis e vias na superfície.

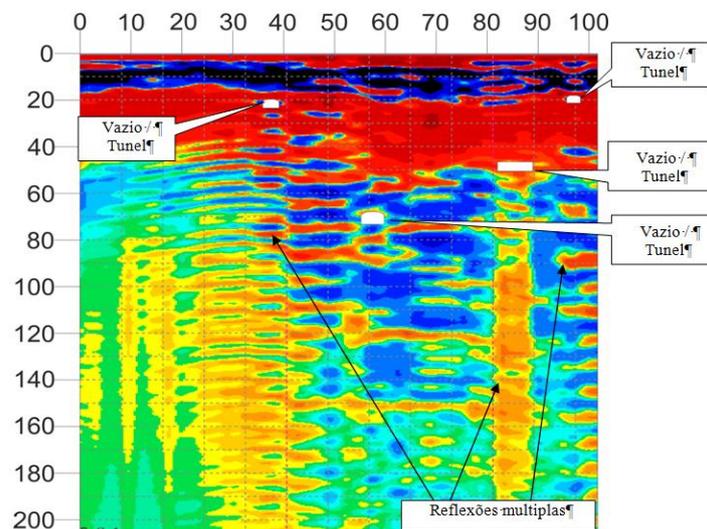


Figura 5 – Estudo em mineração romana e localização de antigos túneis.

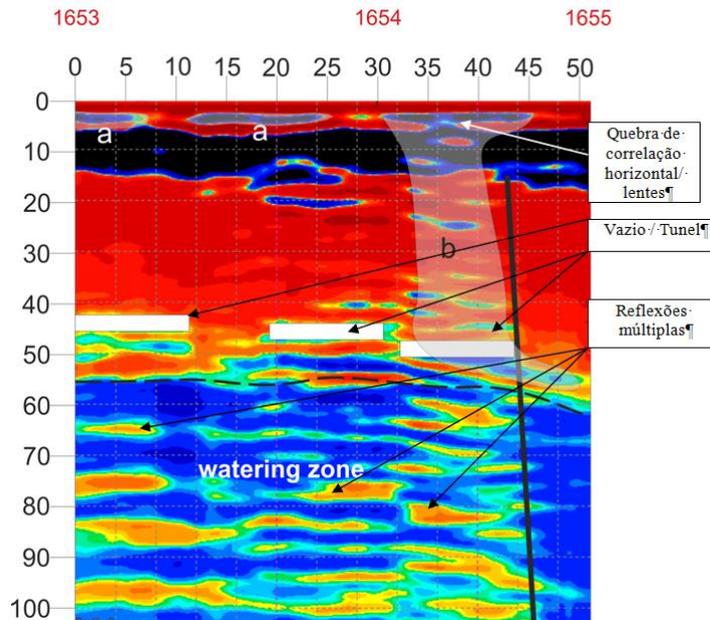


Figura 6 – Seção DPR em área antiga de mineração, com túneis detectados, zona saturada e zona ativa de colapso em superfície com quebra de correlação horizontal dos estratos.

Os trabalhos em barragens usando o método do DPR permitem detecção e localização de saturações, inundações e zonas de subsidência no interior destas construções. Rachaduras podem ser detectadas nas encostas do dique, inclusive deslocamentos verticais e formação das superfícies de deslizamento que indicam o desenvolvimento de deslizamentos de material da barragem.

Na pesquisa mineral, o equipamento tem diversas aplicações com excelentes resultados obtidos. Por exemplo, o objetivo alcançado com o equipamento em uma área com veios de quartzo com sulfetos e mineralização de ouro foi a detecção e mapeamento de corpos mineralizados, além de diques, outros veios de quartzo, controle de falhas, mapeamento de zonas sub verticais sulfetadas e suas zonas de contato geológico (**Figura 7**).

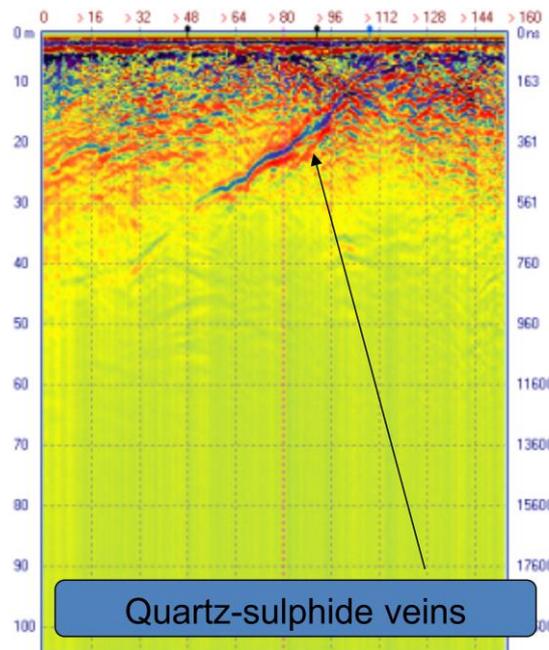


Figura 7 – Localização de veio de quartzo/ sulfeto com uso do DPR.

Estudo feito no exterior no mapeamento de corpos kimberlíticos indicam outra utilização de sucesso, tendo sido detectados os corpos com clara diferenciação da encaixante (**Figura 8**), sendo possível a depender da frequência e malha de amostragem, a construção de modelo em 3D.

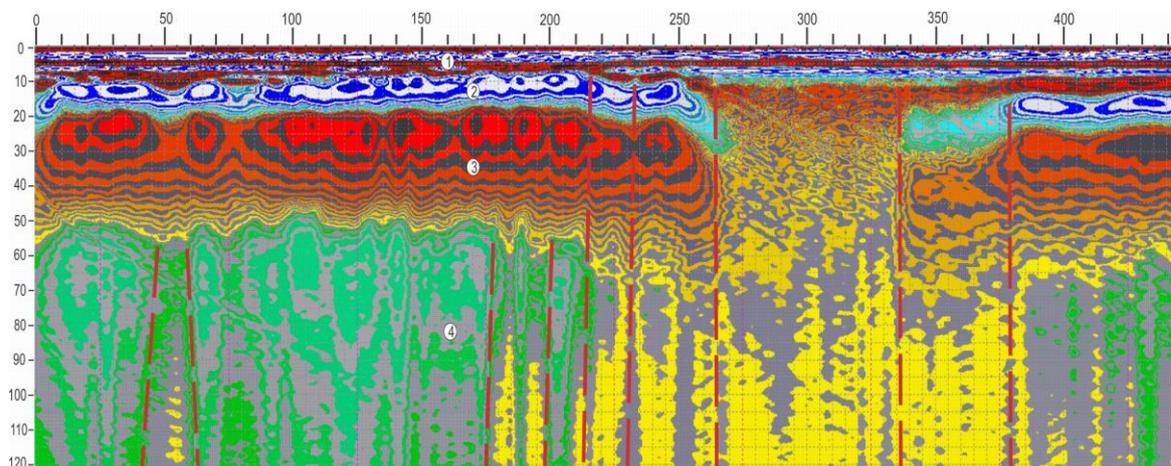


Figura 11 – Mapeamento de corpo kimberlítico com uso do DPR Loza®.

Como dito, as profundidades de investigação dependem dos equipamentos utilizados e da geologia e outras condições locais. A lista abaixo apresenta as profundidades de investigação obtidas com o DPR Loza ® a partir das antenas e transmissores existentes, ressaltando-se que variações podem

ocorrer a depender das condições do substrato.

- 50MHz antena (3m) - profundidade de investigação até 50m
- 25MHz antena (6m) - profundidade de investigação até 100m
- 20MHz antena (10m) - profundidade de investigação até 150m
- 15MHz antena (15m) – profundidade de investigação até 200m

Atualmente possui-se no país antenas de 3m e 6m (50 MHz e 25 MHz), além de transmissor padrão que permite investigação em profundidades até pelo menos 100m.

Agradecimentos:

FDTE - Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia /
Dr. Roberto Ávila Bernardes pela permissão para uso dos dados.

Aleksandr Pivtorak - Deep GPR Research Company - St Petersburg,
Russia, pela cessão de dados e imagens tanto de seu arquivo pessoal como de
trabalhos conjuntos.

Prof. Dr. Rui Miguel Marques Moura da Universidade do Porto, Portugal,
pela cessão de dados e parceria em projetos desenvolvidos com DPR.

Dr. Douglas Bastianon, pelo uso da Figura 1 do texto.