

diagrafias do potencial espontâneo (SP), resistência monoelectrónica (SPR) e Resistividades Normais (RN) curtas (8” e 16”) e largas (32” e 64”), têm várias aplicações possíveis, consoante o diâmetro do furo, fluido de perfuração utilizado e características da rocha envolvente. Desta forma, se o diâmetro do furo for suficientemente largo, poder-se-á considerar que à RN 8” (com menor poder de penetração na rocha envolvente) corresponderá a resistividade da água e à RN 64” (com maior poder de penetração na rocha envolvente) a resistividade da rocha. Tendo como limitação o facto de que apenas se podem utilizar com o furo em “open-hole”, são muito importantes na caracterização das formações. Em gabinete, a partir de estudos quantitativos das propriedades físicas das formações, os resultados podem servir de calibração aos métodos geofísicos de superfície aplicados, tendo como ponto de partida SEVs cujo centro geométrico consistam no próprio furo. Dentro das diagrafias nucleares, distinguem-se as diagrafias da radiação gama natural e neutrão-neutrão. Ambas baseiam-se em propriedades da rocha distintas; a diagrafia de radiação gama natural está directamente relacionada com o conteúdo em isótopos radioactivos de urânio, tório e potássio na rocha. A diagrafia de neutrões está relacionada com o conteúdo em hidrogénio presente nas rochas, relacionável, como tal, com porosidades e fracturas. Como diagrafias da coluna de fluido, foram efectuadas de Temperatura e Condutividade do Fluido e de Fluxo utilizando o sistema de impulso de calor. As duas primeiras têm grande utilidade para detectar variações nas características da água, designadamente a nível de qualidade química e temperatura. A última, efectuada com o furo em repouso, detecta o sentido e a velocidade de fluxos verticais muito pequenos. A partir dos dados de diagrafias é possível efectuar a estimativa de porosidades com o recurso a fórmulas empíricas, algumas amplamente conhecidas, como é o caso da Lei de Archie (Archie, 1942). Recorrendo à interpretação empírica de diagrafias nucleares, destacam-se as estimativas empíricas de porosidades de Baron e Chappelier (1998) e Sopris Signals, (1997) e de permeabilidades (Temples, 1996 in Sopris Signals, 1997).

Em termos práticos, é possível a correlação destes parâmetros estimados, cujo conhecimento acerca da variação em profundidade é detalhado, com outros parâmetros geofísicos que lhes são mais ou menos relacionados. A figura 2 mostra um conjunto seleccionado de diagrafias efectuadas num furo da região de Serpa, localizado sobre uma falha hercínica preenchida por carbonatos de génese hidrotermal. Esta última é particularmente útil na identificação de fracturas. A diagrafia de fluxo dá indicações acerca das entradas de água no furo e a diagrafia da condutividade do fluido evidencia a variação vertical das características químicas da água. O furo foi transformado em captação e objecto de ensaio a caudal constante de 12 m³/h, obtendo-se uma transmissividade pelo método de THEIS de 168 m²/dia. Em condições hidrogeológicas favoráveis, algumas estruturas geológicas da região de Serpa, predominantemente de orientação hercínica, podem apresentar produtividades interessantes para abastecimento doméstico e eventualmente mesmo abastecimento público, numa região tradicionalmente deficitária de recursos hídricos, em especial no período estival (Paralta e Francés, 2000).

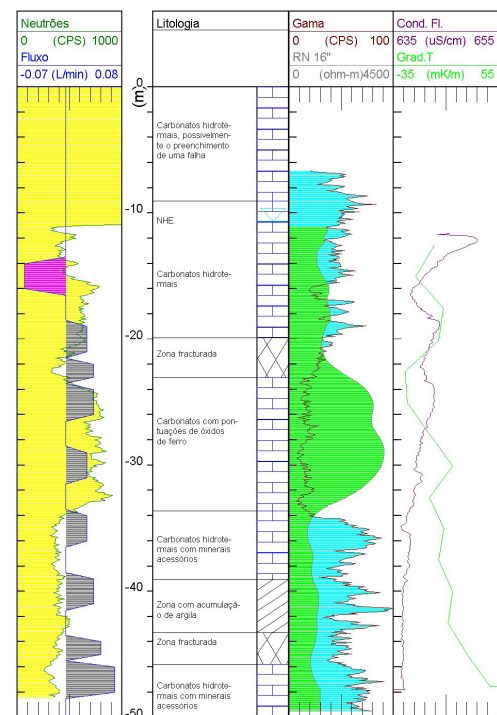


Figura 2 – Diagrafias efectuadas num furo em Serpa (adaptado de Ramalho & Torres, 1998).

Métodos geofísicos de superfície (eléctricos e electromagnéticos)

A Prospecção Geoelectrica é uma das técnicas da Geofísica que permite inferir e conhecer as características geoelectricas do sub-solo usando técnicas não destrutivas a partir da superfície do terreno. O solo e os seus constituintes conduzem electricidade de diferentes maneiras, podendo ser bons ou maus condutores eléctricos. Dessa forma, é possível conhecer parâmetros físicos relacionados com a condução da corrente eléctrica no solo, tal como a Resistividade. Neste sentido, o objectivo da SEV é a discretização do solo em camadas de espessura e resistividade determinadas. A sua aplicabilidade é ideal nos casos unidimensionais (camadas estratificadas horizontais infinitas), mas pode ser igualmente aplicada em locais de geologia mais complicada, acarretando no entanto uma interpretação mais morosa e difícil. O princípio de funcionamento consiste na injeção à superfície do solo de corrente eléctrica em dois pontos (A e B na figura 3) fechando um circuito. Em outros dois pontos também à superfície, é efectuada a leitura da diferença de potencial eléctrico (M e N, na figura 3) criada pela injeção da corrente. A profundidade de investigação normalmente considerada é metade da distância entre os eléctrodos de injeção (AB/2). Essas várias profundidades são obtidas afastando progressivamente os eléctrodos de injeção (pontos A e B). Contudo, a profundidade de investigação varia muito com a resistividade das formações atravessadas, e só após modelação e interpretação dos resultados esta fica bem determinada.

O método do rectângulo consiste no mapeamento da variação da resistividade aparente a diferentes profundidades de investigação, que dependem do espaçamento entre os eléctrodos de corrente. Neste dispositivo é

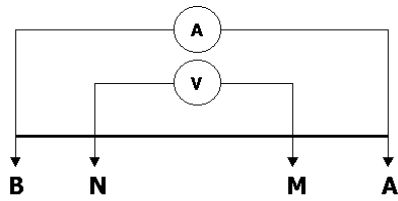


Figura 3 – Esquema do dispositivo Schlumberger.

injectada corrente entre dois pontos distantes (A, B), lendo-se a diferença de potencial (M,N) numa grelha estabelecida que se encontra entre os eléctrodos de injeção. Outros dispositivos utilizados em prospecção geoelectrica, são os denominados dispositivos dipolares, cuja separação entre os eléctrodos de corrente e entre os eléctrodos de potencial é bastante inferior à distância entre os dois dipolos. As respectivas sondagens são realizadas variando a distância entre os dois dipolos. Como são extremamente sensíveis às descontinuidades laterais, são, portanto, ideais para a detecção de falhas, intrusões e mesmo zonas aquíferas. O exemplo da figura 4

mostra exemplos da sua aplicação, com sucesso, na região de Beja (Alentejo) no projecto ARHSABB, (FCT, 1998), como é o caso de um dispositivo dipolo-dipolo com comprimento 12500m atingindo profundidades de investigação da ordem dos 600m (Rocha, 2001; Rocha *et al.*, 2002), evidenciando falhas, bem como a existência de aquíferos a profundidades distintas.

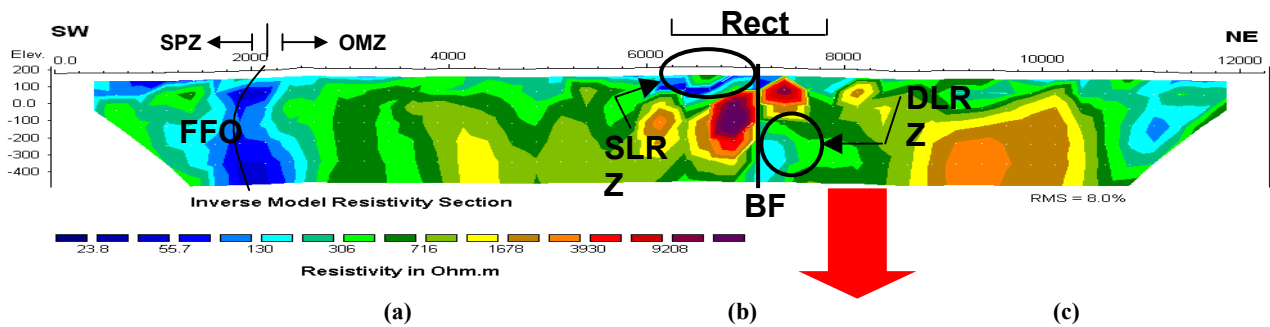
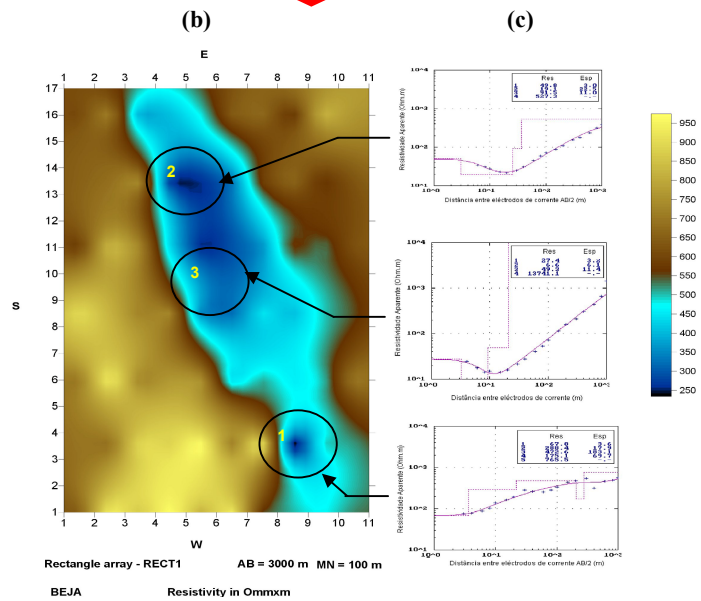


Fig. 4(a) – Seção de resistividade do modelo de inversão do dispositivo dipolo-dipolo. Rect. – Zona com dispositivo do rectângulo; BF – Falha de Beja; FFO – Cavalgamento de Ferreira-Ficalho; DLRZ – Zona profunda de baixas resistividades; SLRZ – Zona superficial de baixas resistividades; SPZ – Zona Sul-Portuguesa; OMZ – Zona de Ossa-Morena (Rocha, 2001; Rocha *et al.*, 2002). (b) dispositivo rectangular mencionado em 4(a) (Rocha, 2001; Rocha *et al.*, 2002). (c) SEVs efectuadas no interior do dispositivo rectangular (adaptado de Rocha, 2001; Rocha *et al.*, 2002).



O equipamento de EM34 (figura 5) mede a condutividade eléctrica aparente do solo em mS/m, sendo, por isso, particularmente útil em Hidrogeologia. O método é extremamente fácil e rápido de utilizar no campo, uma vez que só necessita de dois operadores, um com os aparelhos transmissores e outro com os aparelhos receptores. A fonte de campo primário consiste num transmissor dipolar incorporado e o sensor é um receptor dipolar incorporado. Os espaçamentos do cabo poderão ser de 10m, 20m ou 40m. Consoante seja utilizada uma das duas configurações possíveis, bobinas na posição horizontal (dipolos verticais) ou bobinas na posição vertical (dipolos horizontais), atingem profundidades de investigação distintas para um mesmo comprimento do cabo. Assim, as profundidades de investigação são de 7.5m, 15m, 30m e 60m.

Por outro lado, o método de VLF (very low frequency) é um método geofísico electromagnético cujo objectivo é a detecção de zonas condutoras, que se encontram a algumas dezenas de metros de profundidade. O método utiliza uma onda portadora electromagnética, que tem origem em transmissores militares. Estas ondas, denominadas de campos primários do método de VLF, têm uma frequência de 15 a 30 KHz, e propagam-se entre a superfície da Terra e a

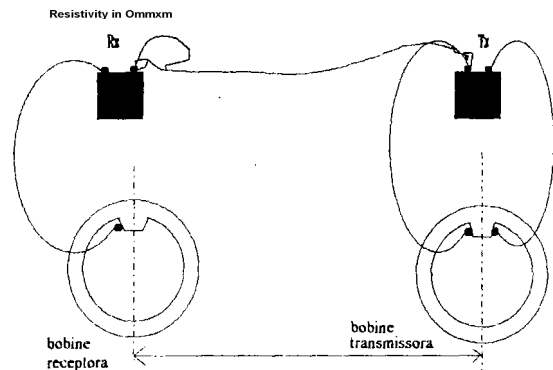


Figura 5 – Esquema do equipamento EM34

Ionosfera. Na presença de corpos condutores, o campo primário (Hp) induz correntes secundárias, que por sua vez dão origem a um campo secundário (Hs) que se sobrepõe ao primário. A medição do campo total (primário mais secundário) na superfície da terra pode ser de grande importância na detecção de estruturas condutoras. Uma desvantagem é que, por vezes, o sinal que é detectado não é o mais indicado para a direcção das estruturas a serem prospectadas. A figura 6 mostra um perfil de VLF efectuado na região de Beja para detecção de estruturas ocultas sob o manto de alteração (falhas e contactos geológicos) e respectiva interpretação.

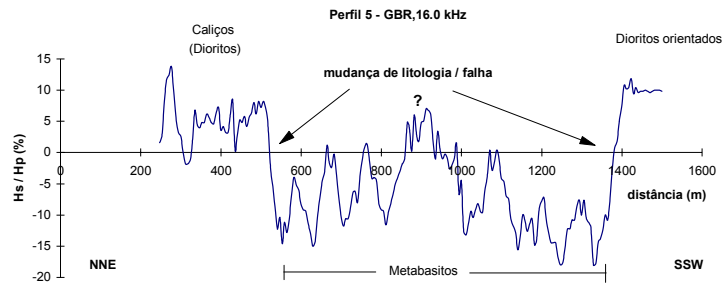


Figura 6 - Perfil de VLF/EM realizado a norte do Penedo Gordo (Beja), numa extensão de 1500 m. Velocidade aproximada 10.5 km/h. Emissor GBR de 16.0 kHz (Oxford). Adaptado de Paralta (2001).

A Tabela resume as vantagens e limitações dos métodos descritos, bem como o campo de aplicação e casos estudados.

Tabela 1 – Vantagens e limitações dos métodos geofísicos aplicados à prospecção de água subterrânea no Alentejo.

Prospecção Geofísica	Métodos	Resultados	Vantagens	Limitações	Campo de Aplicação	Casos Estudados
Profundidade	Diagrafias eléctricas (SP, SPR e RN)	Identificação de anisotropias em furos de captação, calibração de SEVs, etc	Baixo Custo	Aplicam-se exclusivamente em furos não revestidos	Estudos hidrogeológicos (dimensionamento de captações, identificação litológica propriedades físicas das rochas)	Sistemas aquíferos de Beja, Moura, Estremoz e Monforte
	Diagrafias nucleares (Radiação Gama natural e Neutrões)	Identificação de anisotropias em furos de captação	Custo moderado. Pode ser utilizada em furos entubados	São necessárias correcções quando há entubamentos	Estudos hidrogeológicos (dimensionamento de captações, correlações litoestratigráficas)	Sistemas aquíferos de Beja, Moura, Estremoz e Monforte
	Diagrafias da coluna de fluido (temperatura, Condutividade e Fluxo)	Identificação de modificações na química das águas e no sentido e velocidade do fluxo dentro do furo de captação em repouso, ou em bombagem e/ou saída de água do furo	Baixo Custo	Fornecem identificações acerca dos TDS mas necessita da utilização de dispositivos para direccionar o fluxo.	Estudos hidrogeológicos (dimensionamento de captações, identificação litológica propriedades físicas das rochas)	Sistemas aquíferos de Beja, Moura, Estremoz e Monforte
Superfície	Perfis Geoelectricos	Identificação de anisotropias	Boa Resolução. Versátil	Necessárias fontes de corrente potentes	Estudos hidrogeológicos Geofónia, Geotermia	Sistema Aquífero dos Gabros de Beja
	Schlumberger	Identificação de anisotropias	Baixo custo. Rapidez no trabalho de campo	Baixa resolução para meios com discontinuidades laterais	Estudos Hidrogeológicos; Geotecnia	Sistema Aquífero dos Gabros de Beja
	EM 34	Determinação de plumas de contaminação, falhas, filões, etc	Baixo Custo	Interferência de cabos de alta tensão e condutas no subsolo	Estudos de impacto ambiental; Estudos geológicos e hidrogeológicos	Determinação de filões em Vila Vicosa
	VLF/EM	Identificação de grandes discontinuidades: falhas, filões, etc.	Baixo Custo	Interferência de cabos de alta tensão e condutas no subsolo, irregularidade dos emissores	Estudos geológicos e hidrogeológicos	Sistema aquíferos de Beja, Moura, Estremoz e Monforte

Conclusões

Existe actualmente uma vasta gama de aparelhagens e métodos de prospecção geofísica, de superfície e profundidade, que desempenham um papel essencial na prospecção e localização de estruturas geológicas potencialmente favoráveis à ocorrência de água subterrânea, reduzindo a incerteza na pesquisa e os custos associados às sondagens improdutivas. O campo de aplicação de cada um dos métodos depende de algumas variáveis como sejam as condições geológicas, fonte de energia, custos, versatilidade, etc, pelo que a escolha do método a utilizar deve ser objecto de análise prévia em função dos objectivos dos trabalhos.

Bibliografia

- Archie, G.E. (1942) - The Electrical Resistivity Log as an Aid in Determining Some Reservoir Characteristics. *Journal Petroleum Technology*, vol 5.
- Baron, L. & Chappelier, D. (1998) – Nuclear well logging in soils calibration of slim hole nuclear tools gamma-gamma and neutron-thermal neutron. *Proc. IV Meet. Environmental Engineering Geophysical Soc. (European Sec.)*, Barcelona: 275-278.
- Paralta, E. (2001) – Hidrogeologia e Modelação Estocástica da Contaminação por Nitratos do Aquífero Gabro-diorítico da Região de Beja. *Tese Mestrado em Georrecursos, IST*, 157 p.
- Paralta, E. & Francés, A. (2000) - Caracterização hidrogeológica e avaliação da vulnerabilidade à poluição do complexo gabro-diorítico de Serpa-Brinches (sector oriental do sistema aquífero dos Gabros de Beja). *GeoNovas*, Porto, 14: 27-35.
- Reynolds, J. M. (1997) – An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. West Sussex, John Wiley & Sons.
- Rocha, R. (2001) – Avaliação dos Recursos Hídricos Subterrâneos na Área dos Barros de Beja; Parâmetros Hidrogeofísicos. *Tese Mestrado*, Universidade de Lisboa: 134p.
- Rocha, R.; Andrade Afonso, A. & Ramalho, E. (2002) – Hydrogeological implications of Beja Fault location using geoelectrical methods. *Actas VIII Environmental and Engineering Geophysics ES Meeting*, Aveiro, 3-8 de Setembro de 2002: 453-456.
- Sopris Signals (1997) – Estimate Hydrogeologic Parameters with MGXII Loggers. v.3. 1: 1-3.