Departamento de Ciências da Terra
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Universidade de Coimbra

Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos - APRH
Estoril, 2 a 4 de Abril de 2008

PROSPECÇÃO GEOFÍSICA APLICADA AO ESTUDO DA CONTAMINAÇÃO PROVOCADA POR UMA ANTIGA LIXEIRA - CIDREIRA, COIMBRA

FERNANDO P. O. FIGUEIREDO, LÍDIA M. G. CATARINO e RICARDO J. L. CRUZ

Centro de Geociências da Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Largo Marques de Pombal, 3000-272 COIMBRA; Tel: +351 239 860 538; e-mail: fpedro@dct.uc.pt

Objectivos do trabalho

Estudo da pluma de contaminação gerada pela antiga lixeira

Delimitar a extensão da área contaminada.

Caracterização da lixeira

A lixeira situa-se a 3km a NW da cidade de Coimbra, próximo da povoação da Cidreira, no bordo norte da planície aluvial do Baixo Mondego.

Esta lixeira foi instalada numa antiga exploração de areia. Esta gerou uma depressão no terreno que foi utilizada pelo município de Coimbra e por particulares para depositar todo o tipo de resíduos e entulhos, admitindo-se, que ficaram enterrados abaixo do nível freático grande variedade de substâncias contaminantes.

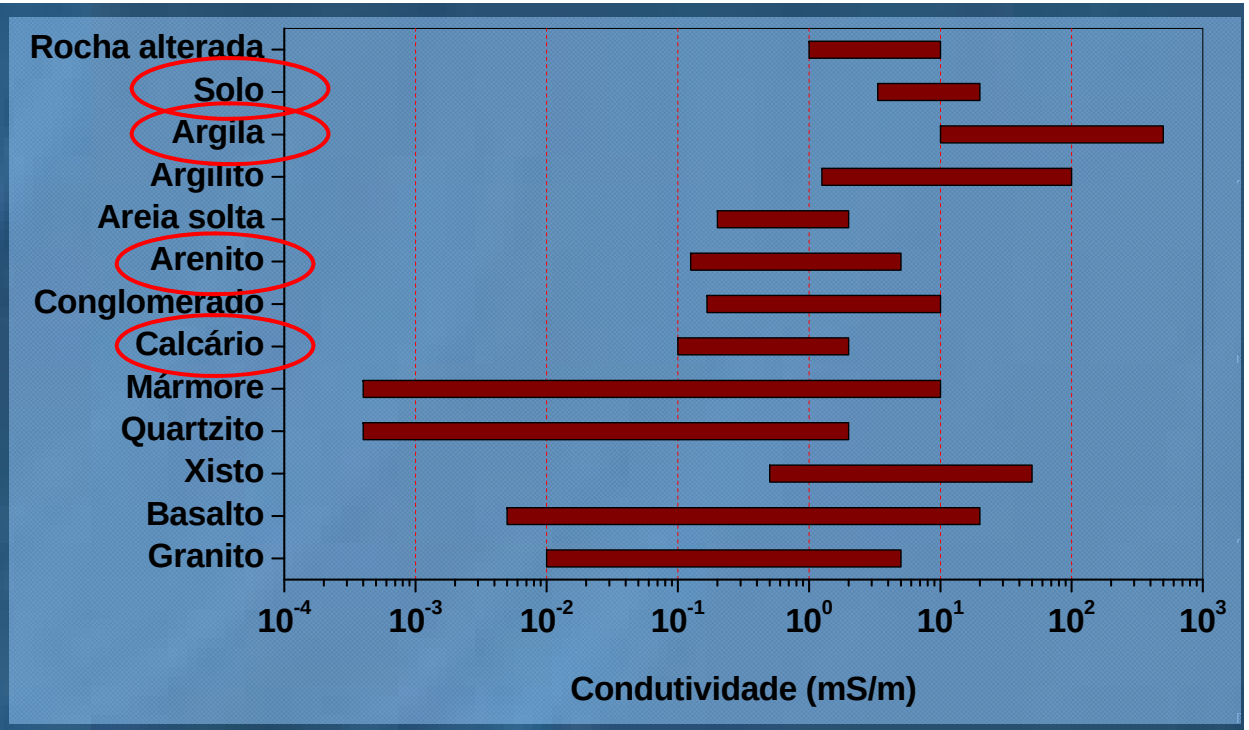
A lixeira da Cidreira serviu de vazadouro para os resíduos sólidos urbanos do município de Coimbra, bem como para os resíduos hospitalares e industriais produzidos na região entre 1974 e 1982.

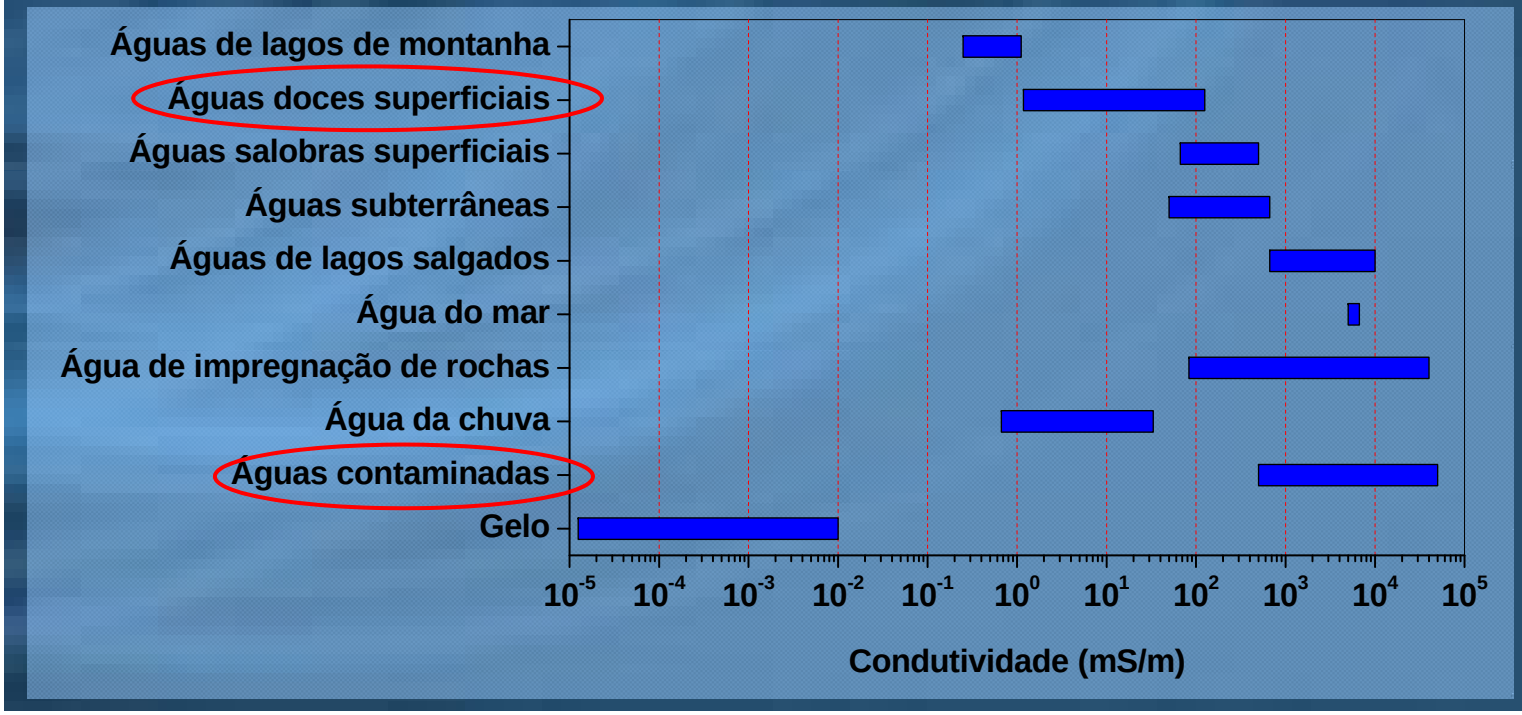
Estima-se, com base na área superficial e na profundidade referida por populares, que o volume de resíduos depositados seja da ordem de 130000m3.

Após o abandono da lixeira, em 1982, esta foi tapada com solo embora tenha continuado a haver despejos clandestinos de resíduos no local. A colocação de solo de cobertura sobre a massa de resíduos teve por objectivo diminuir alguns dos impactes ambientais,

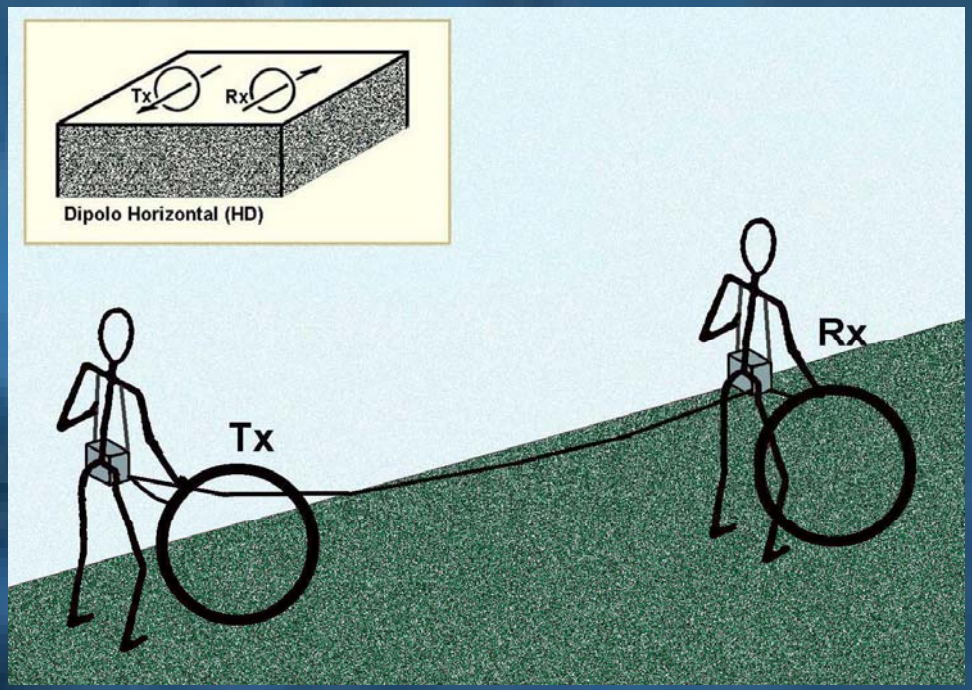
A ‘selagem’ da lixeira não impede que a água da precipitação percole pelos resíduos e faça a sua lixiviação gerando uma pluma de contaminação.

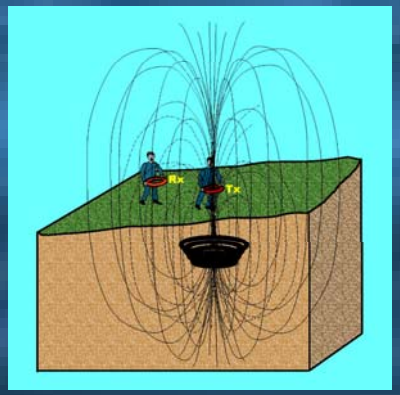
MINERAIS
ÁGUA
CONDUTIVIDADE DO MEIO
SAIS DISSOLVIDOS

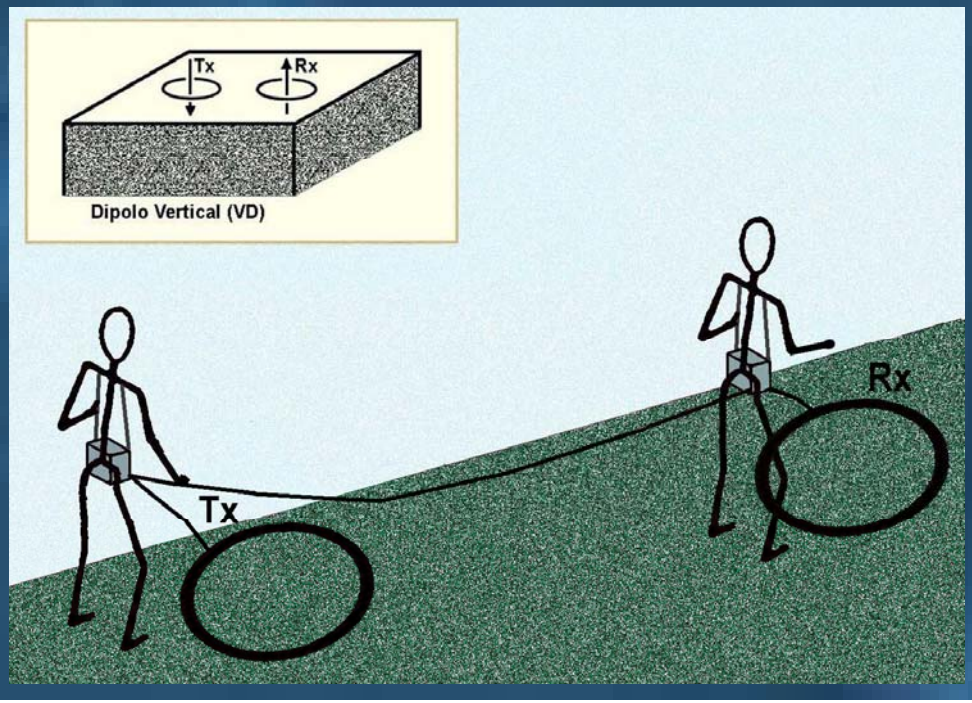

Rocha alterada
Solo
Argila
Argilito
Areia solta
Arenito
Conglomerado
Calcário
Mármore
Quartzito
Xisto
Basalto
Granito
10^{-4} 10^{-3} 10^{-2} 10^{-1} 10^{0} 10^{1} 10^{2} 10^{3}
Condutividade (mS/m)


Águas de lagos de montanha
Águas doces superficiais
Águas salobras superficiais
Águas subterrâneas
Águas de lagos salgados
Água do mar
Água de impregnação de rochas
Água da chuva
Águas contaminadas
Gelo
10^{-5} 10^{-4} 10^{-3} 10^{-2} 10^{-1} 10^{0} 10^{1} 10^{2} 10^{3} 10^{4} 10^{5}
Condutividade (mS/m)

Procedimento da recolha de dados de campo com condutivímetro EM34







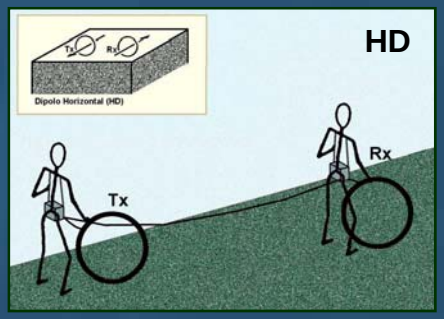
Parâmetros operacionais dos condutivímetros Geonics EM31 e EM34 e profundidade de penetração efectiva para cada configuração, assumindo a cota zero ao nível do terreno (adaptado de Ogilvy *et al.,* 1991).

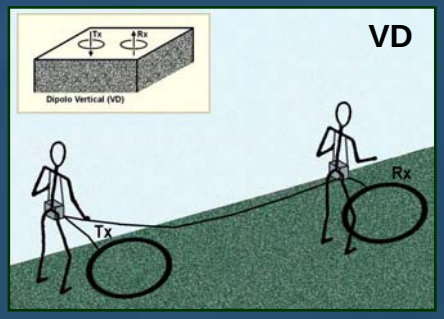
#	Condutivímetro	Espaçamento entre bobines (m)	Orientação dos dipolos	Frequência (Hz)	Profundidade aparente de investigação (m)
1	EM34	10	HD	6400	5,9
2	EM34	10	VD	6400	12,6
3	EM34	20	HD	1600	11,8
4	EM34	20	VD	1600	25,3
5	EM34	40	HD	400	23,5
6	EM34	40	VD	400	50,6

HD - Dipolo Horizontal (Bobines na posição vertical)
VD - Dipolo Vertical (Bobines na posição horizontal)

Profundidade de investigação aparente (m)

5,9	EM34 - HD 10m
11,8	EM34 - HD 20m
12,6	EM34 - VD 10m
23,5	EM34 - HD 40m
25,3	EM34 - VD 20m
50,6	EM34 - VD 40m



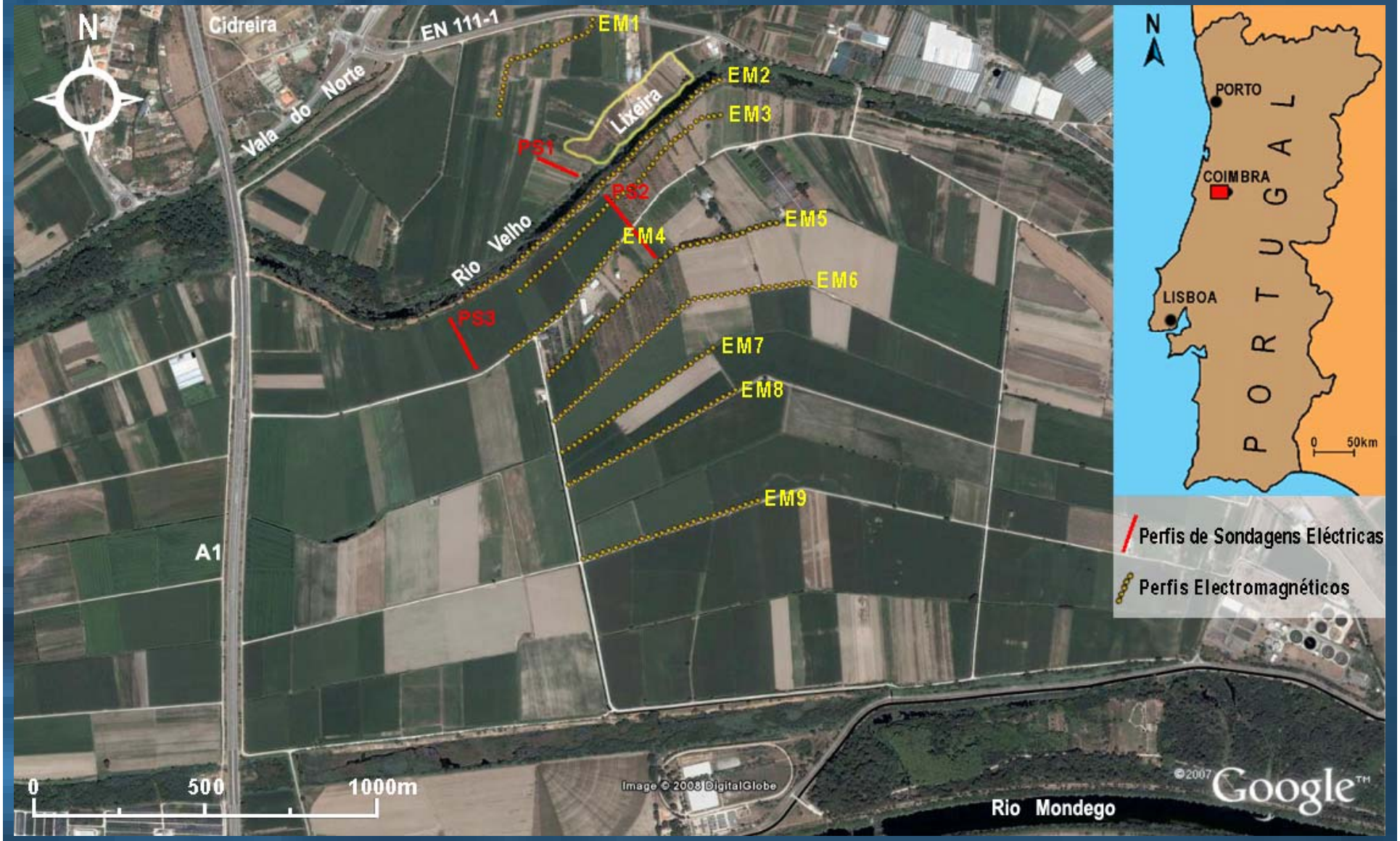


Fases do trabalho de campo

Os trabalhos de campo para estudo da contaminação desta lixeira foram efectuados em três fases.

Em 1998 foi iniciada uma campanha de prospecção geofísica, com a utilização do método eléctrico de resistividade, tendo-se efectuado três perfis na envolvente da lixeira com a realização de 12 sondagens eléctricas.

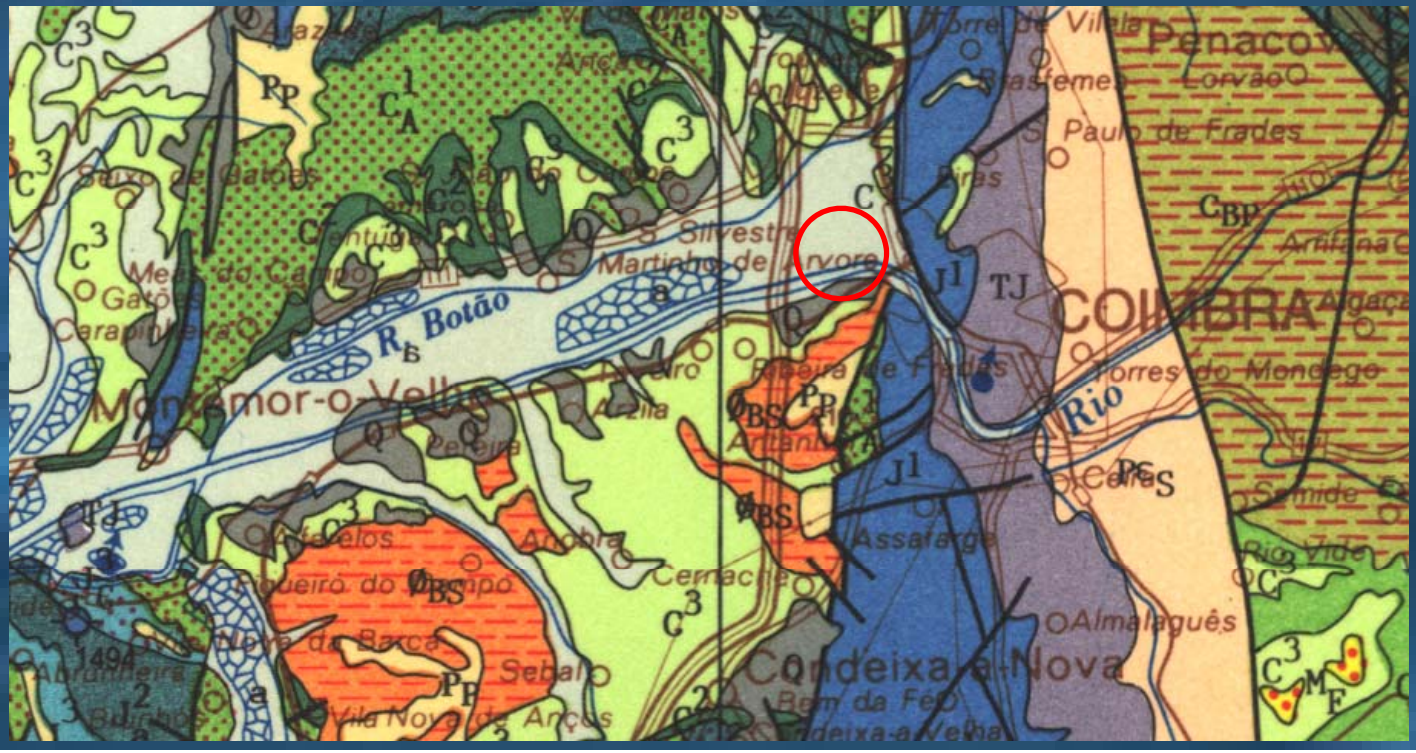
Na segunda e terceira fase do trabalho de prospecção geofísica (2006 e 2007) foi utilizado o método electromagnético no domínio frequência, com o condutivímetro Geonics EM34, tendo sido efectuados 9 perfis, designados por EM1 a EM9, com um comprimento total de 6040m.



Localização geográfica da área estudada, da antiga lixeira, dos três perfis de sondagens eléctricas (SE1 a SE3) e dos nove perfis de prospecção electromagnética (EM1 a EM9) – (adaptado do Google Earth Plus).

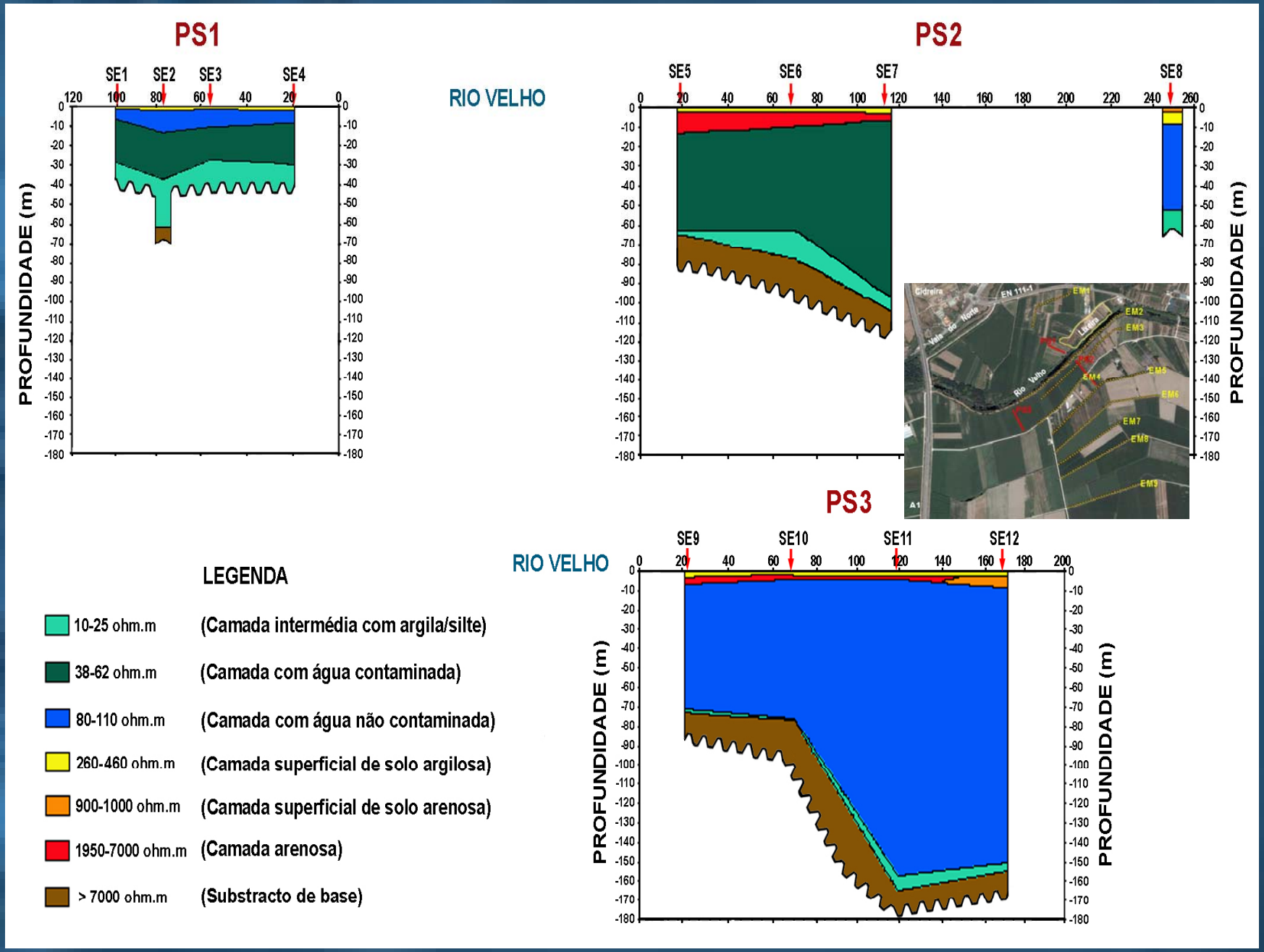
Enquadramento geológico

Sob o ponto de vista geológico a aluvião é constituída por sedimentos recentes siliciclásticos, formações com uma natureza muito permeável e que contribuem para a disseminação e propagação da pluma de contaminação.
Sob a aluvião existem depósitos detríticos na forma de arenitos e argilas de idade Quaternária e Terciária.
Em profundidade, surgem as formações Cretácicas que são constituídas essencialmente por arenitos de granulometria variável, existindo ainda uma formação de natureza calcária na passagem do Cretácico superior para o inferior.
Os depósitos subjacentes de idade Jurássica são predominantemente constituídos por calcários e margas calcárias.

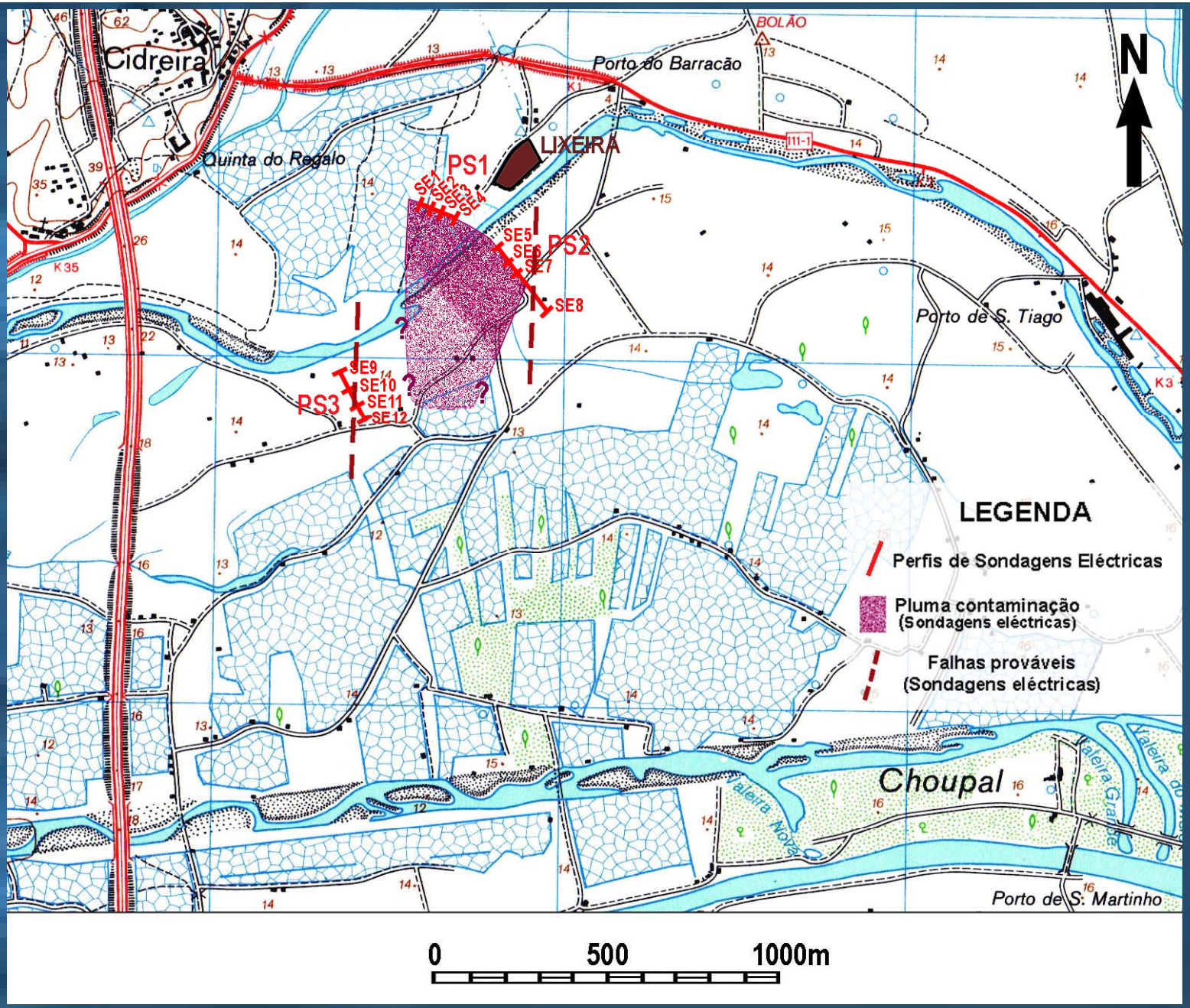


Valores hidroquímicos da água dos charcos da lixeira e da vala Rio Velho (1ª fase).

	Temperatura (ºC)	pH	Condutividade (µS/cm)	Cl^- (mg/l)	HCO_3^- (mg/l)	Na^+ (mg/l)	K^+ (mg/l)	NO_2^- (mg/l)
Charcos	22,3	8,1	865	117,7	408,0	50,0	77,9	0,06
Rio Velho	19,0	6,9	550	25,1	186,0	18,8	4,2	0,08
Valores máximos admissíveis para água de irrigação	---	6,5-8,4	---	70,0	92,0	---	---	---



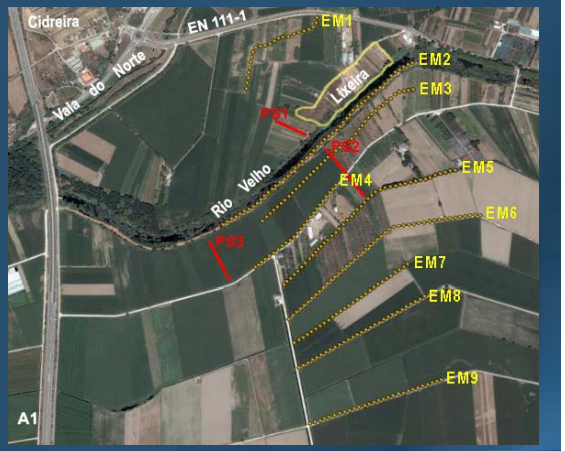
Perfis de sondagens eléctricas PS1, PS2 e PS3, e respectiva interpretação (1ª fase).

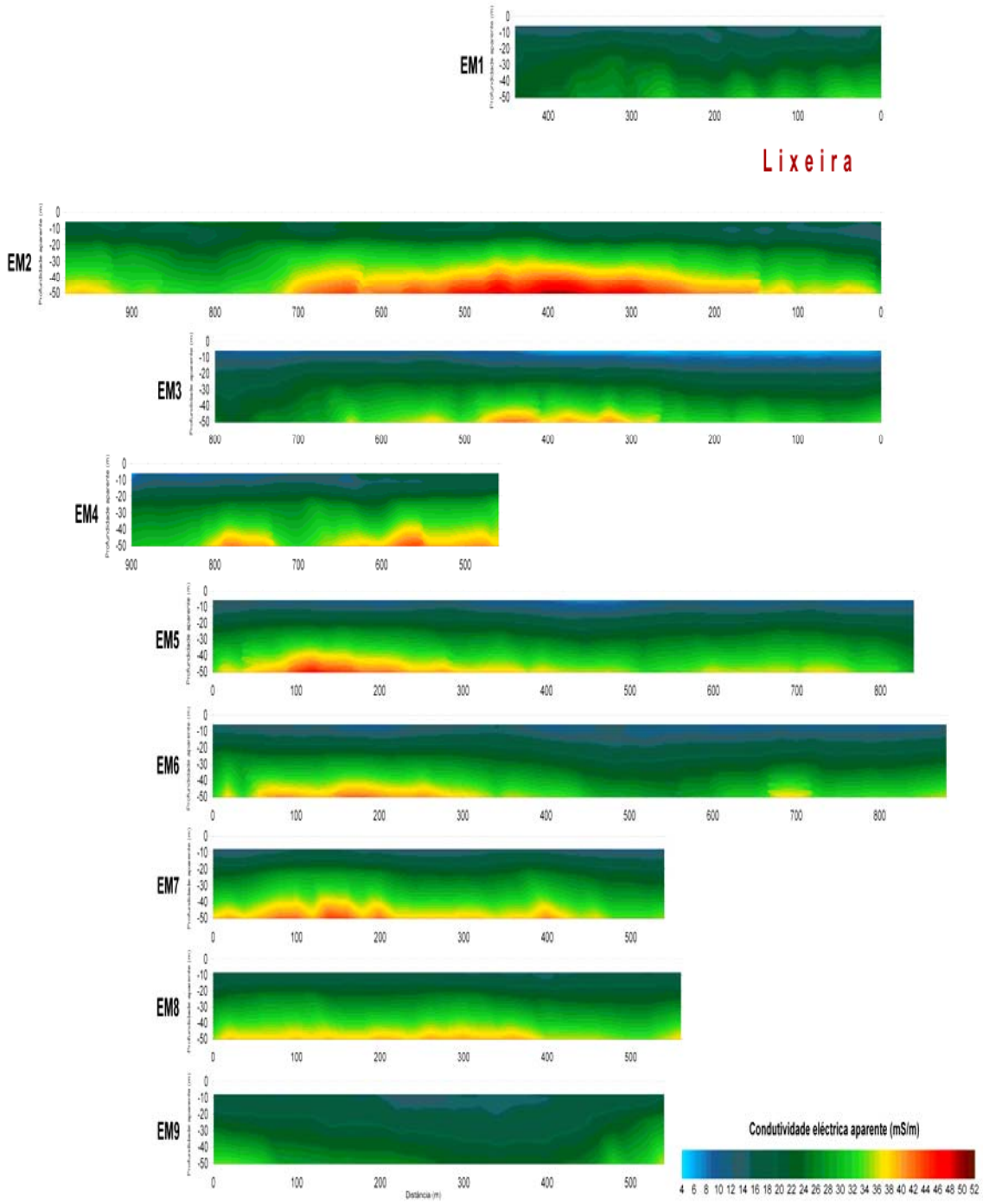


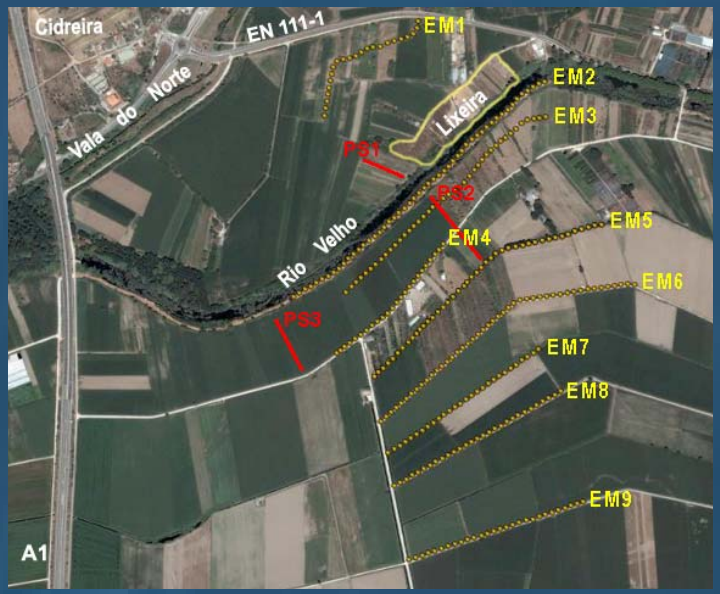
Localização da pluma de contaminação e falhas geológicas detectadas na 1.ª fase com as sondagens eléctricas.

Características dos perfis electromagnéticos realizados (2ª e 3ª fase).

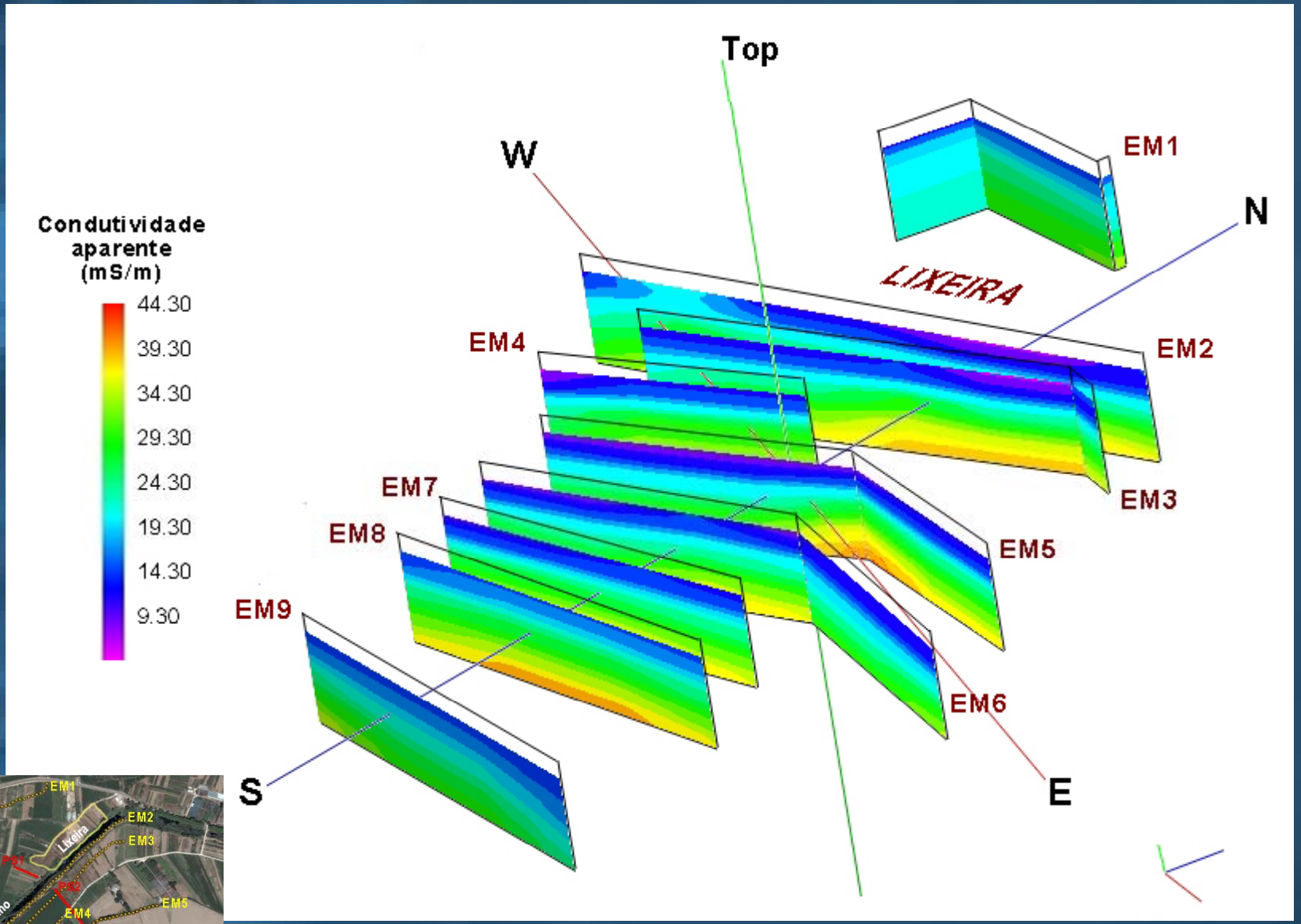
Designação do perfil	Comprimento (m)	Número de leituras HD e VD
EM1	440	138
EM2	980	300
EM3	800	246
EM4	440	138
EM5	840	258
EM6	900	270
EM7	540	168
EM8	560	174
EM9	540	168

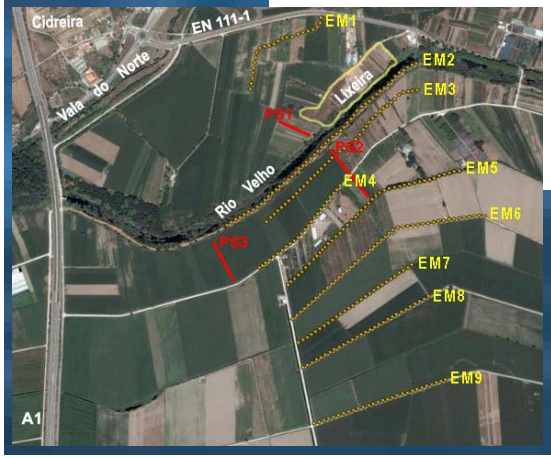




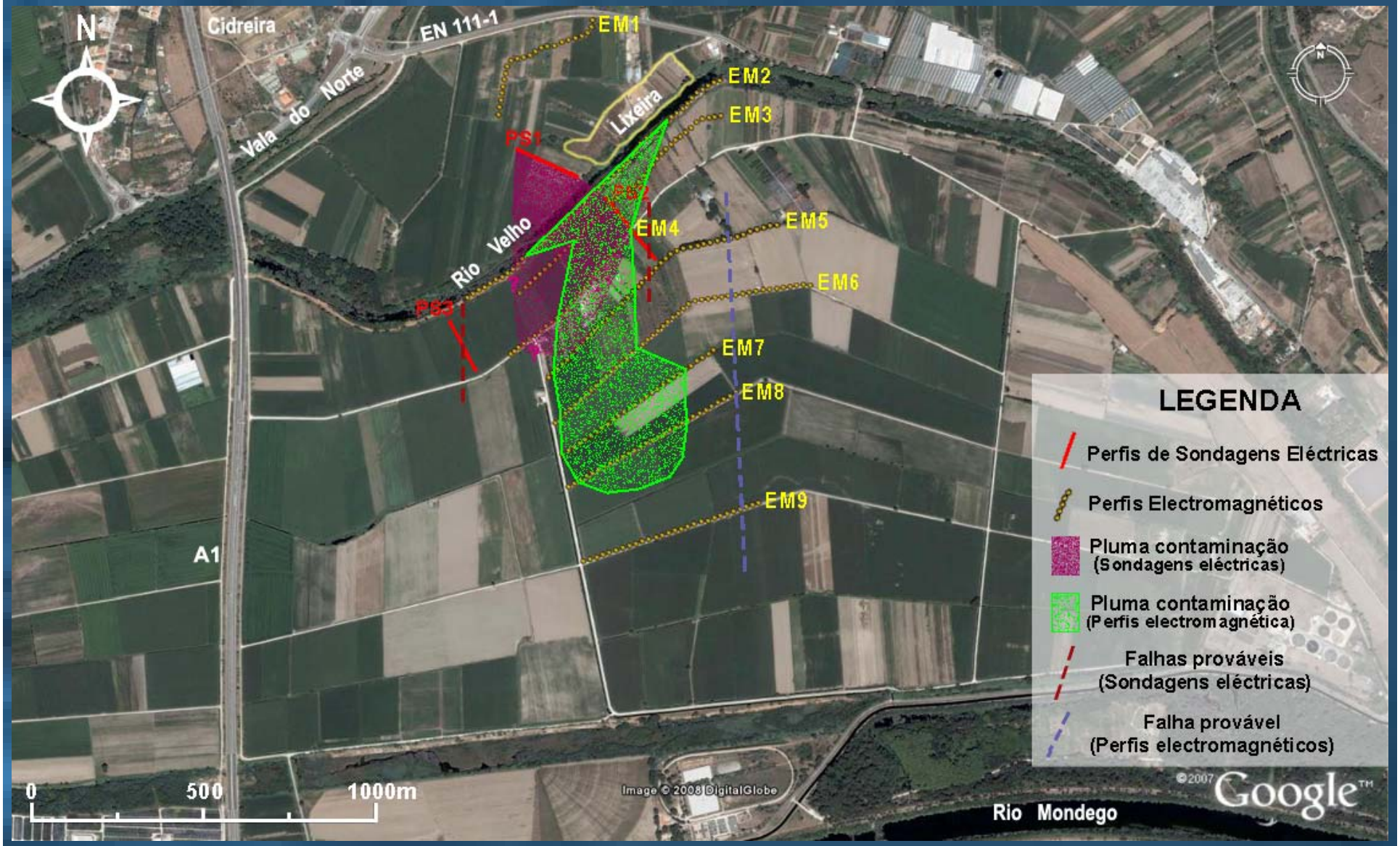


Pseudo-secções de condutividade eléctrica aparente referentes aos perfis EM1 a EM9 realizados na envolvente da antiga lixeira da Cidreira.



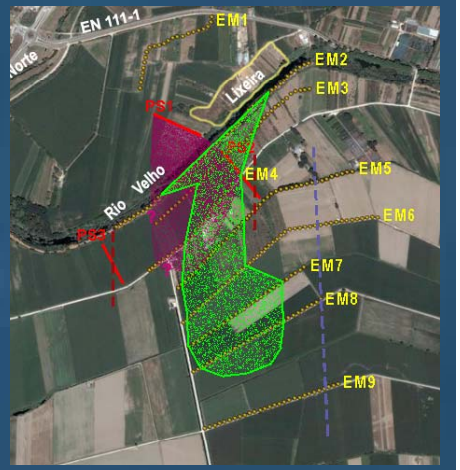


Modelo 2,5D construído com as 9 pseudo-secções de prospecção electromagnética. Pluma de contaminação gerada pela lixeira da cidreira



Localização da pluma de contaminação e falhas geológicas detectadas nas três campanhas de prospecção geofísica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS



Para NW da antiga lixeira e para as profundidades de investigação estudadas, não existem indícios de contaminação. As zonas condutivas identificadas dos limites da lixeira foram atribuídas à eventual pluma de contaminação, que apresenta uma direcção preferencial de propagação para S e SW.

A pluma de contaminação desenvolve-se em profundidade e vai atenuando-se com o afastamento à lixeira. A falha assinalada entre as sondagens SE7 e SE8, do perfil PS2, pode funcionar como barreira geológica, impedindo a circulação de lixiviados para SE e condicionando o desenvolvimento da pluma de contaminação determinada com a prospecção electromagnética.

As falhas detectadas com a prospecção eléctrica não foram verificadas directamente na prospecção electromagnética devido a localizarem-se a uma profundidade superior à profundidade de investigação deste método.

A forma irregular da pluma de contaminação no lado Oeste da pseudo-secção EM2 é devida ao facto deste perfil ter sido realizado num caminho ao longo da vala Rio Velho que se situa a uma cota inferior em relação aos restantes perfis.

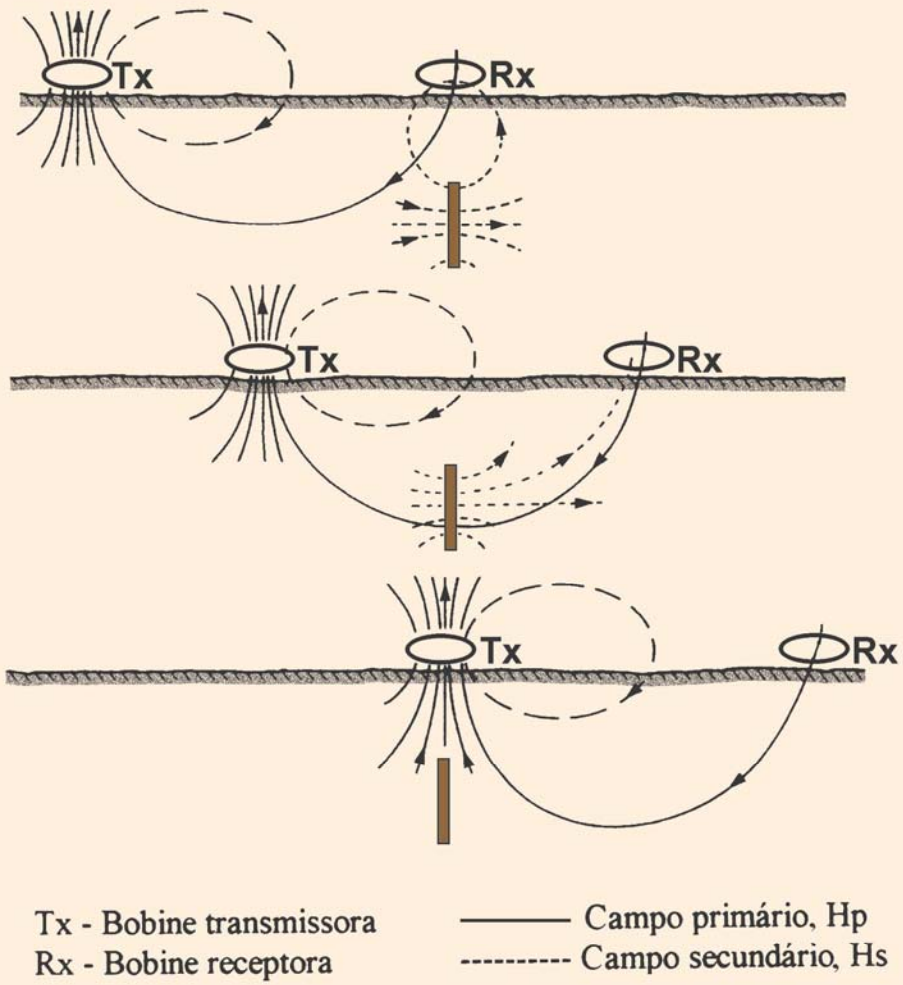
Agradecimentos

- Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Centro de Geociências da Universidade de Coimbra as facilidades cedidas e o suporte financeiro para o trabalho de campo.
- Aos proprietários dos terrenos limítrofes à lixeira, pelas facilidades de acesso concedidas.
- À Dulce Pitarma, a leitura atenta deste trabalho.

Bibliografia consultada

- ALMEIDA, A. C.; SOARES, A. F.; CUNHA, L. e MARQUES, J. F. (1990). *Proémio ao estudo do Baixo Mondego*, Biblos, vol. LXVI, pp. 17-47. Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra. Coimbra.
- ALMEIDA, C.; MENDONÇA, J. J. L.; JESUS, M. R. e GOMES, A. J. (2000). *Sistemas Aquíferos de Portugal Continental.* Instituto da Água - Centro de Geologia da Universidade de Lisboa, Lisboa, 3 volumes.
- CCDRC (2000), "Plano de Bacia Hidrográfica Do Rio Mondego, 1ª Fase, Análise e Diagnóstico da Situação Actual", Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro, 269pp.
- CRUZ, R. J. L., CATARINO, L. M. G. E FIGUEIREDO, F. P. O. (2007), Estudo da pluma de contaminação provocada por uma antiga lixeira com o método de prospecção electromagnético - Cidreira, Coimbra. 9ª. Conferência Nacional de Ambiente, 18 a 20 de Abril de 2007, Universidade de Aveiro, Portugal. pp. 1278-1282.
- FIGUEIREDO, F. P. O. (1990). *Método de resistividade eléctrico aplicado ao estudo de aquíferos costeiros. Caracterização do aquífero superficial da península Barra-Costa Nova do Prado-Vagueira (Aveiro)*. Dissertação de Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica, 2 Volumes, Universidade de Coimbra. Coimbra.
- FIGUEIREDO, F. P. O. (2006). *Estudo de uma pluma de contaminação pelo método de prospecção electromagnético no domínio frequência*. Geria, Coimbra. Actas do 8º Congresso da Água. 13 a 17 de Março, Figueira da Foz: Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. Comunicação 171, CD-ROM. 14pp.
- FIGUEIREDO, F. P. O.; ANDRADE, A. I. S. e FERREIRA, M. R. V. (1998). *Proceedings of the Environmental and Engineering Geophysical Society (European Section)*, Barcelona, Spain, pp.107-110.
- GREENHOUSE, J.; MONIER-WILLIAMS, M.; ELLERT, N. e SLAINE, D. (1989). *Geophysical methods in groundwater contamination studies.* Exploration 87 Proceedings, Ontário Geological Survey, Special vol.3, pp. 666-677.
- HABBERJAM, G. M. (1979). *Apparent resistivity observations and the use of square array techniques*. Gebrüder Borntraeger, Berlin, Alemanha.
- NOGUERA, J.; RIVERO, L.; FONT, X.; NAVARRO, A e MARTÍNEZ, F. (2002). *Simultaneous use of geochemical and geophysical methods to characterise abandoned landfills.* Environmental Geology, vol.41, pp. 898-905.
- OGILVY, R. D.; CUADRA, A.; JACKSON, P. D. e CUELLAR, V. (1991). *Delineation of a resistive drainage channel by EM conductivity survey*, Geoexploration 28, pp. 139-152.
- Páginas Internet consultadas:
- http://www.ccdrc.pt/regiao/bacias-hidrograficas/mondego/ : Consultada em Novembro de 2007.
- http://earth.google.com/ : Consultada em Janeiro de 2008.
- http://snirh.pt/snirh.php?main_id=2&item=1&objlink=&objrede=METEO : Consultada em Novembro de 2007.

☞ Método Electromagnético (domínio frequência)



Posição das bobines transmissora, *Tx*, e receptora, *Rx*, na superfície do terreno, com a respectiva representação dos campos electromagnéticos primário, *Hp*, e secundário, *Hs*.

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

$$h = \frac{100}{\sqrt{\sigma \cdot f}}$$

σ – condutividade eléctrica (mS/m); (S/m)

ρ – resistividade eléctrica (ohm.m)

***h* – profundidade de penetração efectiva (m)**

***f* – frequência do campo electromagnético (Hz)**