

## 5º Trabalho Prático

# ESTUDO DO CAMPO ELÉTRICO INDUZIDO NUM MEIO HETEROGÊNIO<sup>1</sup>

### 1. Apresentação

#### *Objetivo*

A crosta terrestre é constituída, na sua maior parte, por rochas que não se encontram acessíveis à inspeção direta por parte do geólogo. Por isso, o seu estudo apenas pode ser feito de forma indireta através das propriedades físicas que podem ser exploradas por diferentes métodos geofísicos.

O objetivo principal do presente trabalho é ilustrar a utilização do campo elétrico estacionário (ou de baixa frequência) para o conhecimento da estrutura da parte mais superficial da crosta terrestre, usando técnicas desenvolvidas no âmbito da geofísica aplicada.

Pretende-se que o aluno realize dois dos dispositivos eletródicos mais conhecidos: o dispositivo de Schlumberger (também designado por Sondagem Elétrica Vertical ou SEV) e o retângulo. As experiências serão realizadas num pequeno tanque analógico.

#### *Fundamento teórico*

Para explorar as propriedades elétricas das rochas é necessário criar no terreno um campo elétrico artificial. Este é obtido através da injeção de corrente elétrica  $I$  entre dois elétrodos designados por elétrodos de corrente ou de injeção e identificados pelas letras  $A$  e  $B$ . O campo elétrico assim formado é avaliado medindo a diferença de potencial  $\Delta V$  entre outros dois elétrodos, elétrodos de leitura ou potencial, identificados pelas letras  $M$  e  $N$ .

Se considerarmos um semi-espço homogéneo e infinito caracterizado pela resistividade  $\rho$ , então uma fonte pontual de corrente contínua  $I$  estabelece no seu interior um potencial elétrico com simetria esférica  $V$ . Num ponto situado à distância  $r$  da fonte, o valor do potencial é dado pela expressão

$$V = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad (1)$$

Quanto se têm dois elétrodos  $A$  e  $B$ , um para injetar corrente ( $I > 0$ ) e outro para a recolher ( $I < 0$ ) então o potencial estabelecido num ponto  $M$  vale

$$V(M) = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) \quad (2)$$

onde  $AM$  e  $BM$  representam as distâncias entre os pontos indicados.

Sendo assim, ao se usarem dois elétrodos de leitura  $M$  e  $N$ , a diferença de potencial medida vale

$$\Delta V = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right) \quad (3)$$

Quando o meio é heterogéneo, é conveniente expressar os resultados das medições em termos

---

<sup>1</sup>Trabalho realizado com a colaboração do Professor Fernando Santos.

de uma grandeza, a "resistividade aparente"  $\rho_a$  que apenas depende das propriedades geoeletricas do meio e da geometria do arranjo de eléctrodos.  $\rho_a$  define-se como sendo a resistividade de um meio homogéneo que teria a mesma resposta à excitação eléctrica que o meio heterogéneo em estudo

$$\rho_a = 2\pi \frac{I}{\left(\frac{I}{AM} - \frac{I}{BM} - \frac{I}{AN} + \frac{I}{BN}\right)} \frac{\Delta V}{I} = 2\pi K \frac{\Delta V}{I} \quad (4)$$

Na expressão anterior  $K$  representa um factor de forma geométrico. Quando as distâncias se expressam em *metro*, a ddp em *volt* e a corrente em *ampere*, a resistividade aparente vem expressa na unidade  $\Omega.m$  (ohm.metro).

Pela distribuição dos valores da resistividade aparente é possível detectar a existência de heterogeneidades de resistividade que se destacam do meio ambiente e, combinando informações diversas, dar-lhes significado geológico: podem corresponder a falhas, mineralizações, zonas de circulação de água, cavernas, etc.

### O dispositivo de Schlumberger

Neste dispositivo, ilustrado na figura 1, os eléctrodos de leitura,  $M$  e  $N$  são mantidos fixos e colineares com os de injeção,  $A$  e  $B$ , que vão sendo afastados simetricamente em relação ao ponto central. Para cada valor de  $AB/2$  determina-se um valor da resistividade aparente. Este dispositivo tem a designação de sondagem eléctrica vertical (SEV) porque a curva de resistividades aparente expressa a variação vertical da resistividade por baixo do ponto central do arranjo de eléctrodos. Quando  $AB$  é pequeno a corrente circula próximo da superfície e por isso a ddp medida em  $MN$  depende sobretudo das propriedades geoeletricas das rochas mais superficiais. Com o afastamento dos eléctrodos  $AB$  a corrente penetra níveis cada vez mais profundos que vão por isso influenciar a ddp medida em  $MN$ . Para este dispositivo a equação (4) toma uma forma mais simples

$$\rho_a = \frac{\pi r^2 \Delta V}{a I} = 2\pi K \frac{\Delta V}{I} \quad (5)$$

onde  $a = MN$  e  $r = AB/2$ .

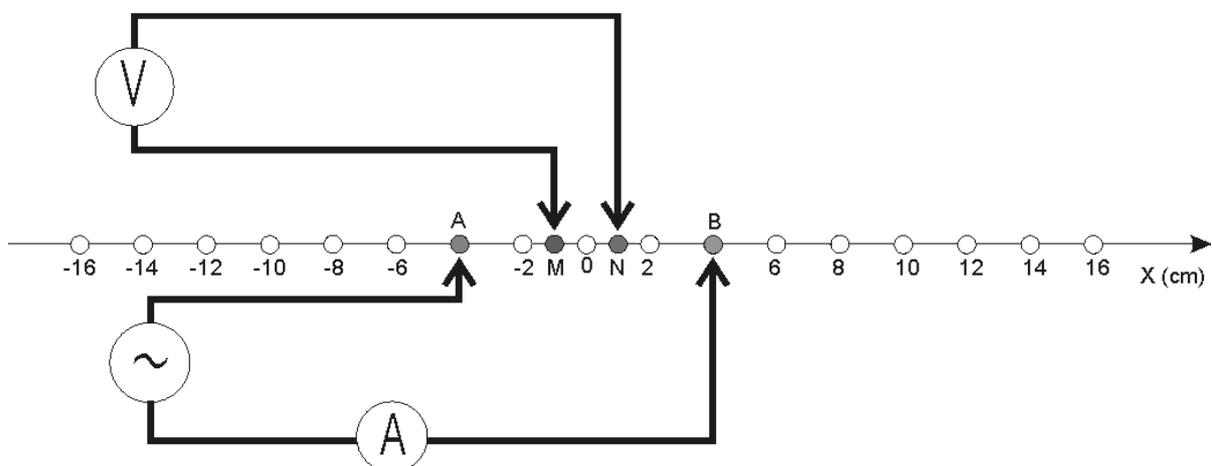


Figura 1 - Dispositivo de Schlumberger

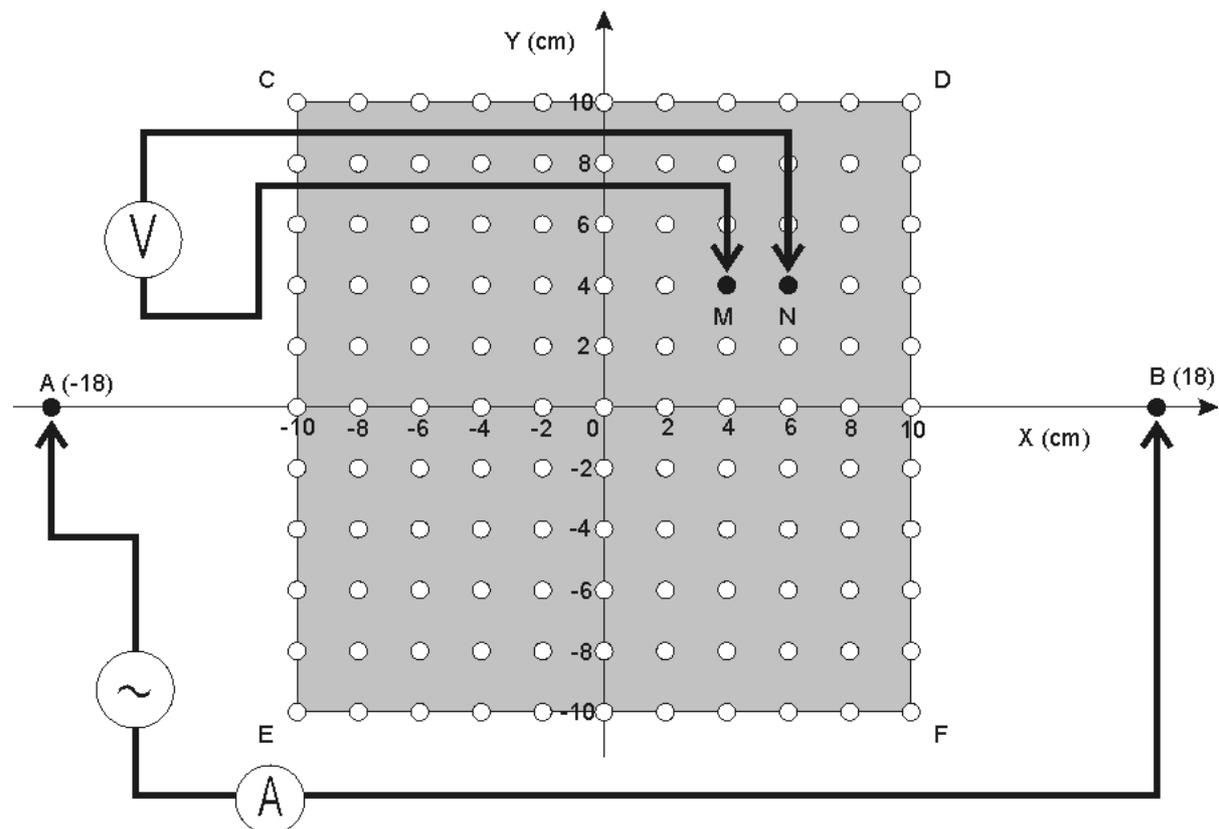
A análise dos resultados de uma SEV é feita com base na representação gráfica da resistividade aparente  $\rho_a$  em função de  $AB/2$  num gráfico bilogarítmico. A interpretação da curva de resistividades aparentes assim obtida pode ser feita por modelação numérica, ou de forma

menos precisa, recorrendo a ábacos de curvas.

### *O dispositivo rectangular*

Quando se pretende descobrir numa certa área a existência de variações laterais bruscas das propriedades geoelectricas, é conveniente usar um dispositivo distinto da SEV, designado por rectângulo. Neste caso, os eléctrodos de injeção *A* e *B* são colocados o mais afastados possível, e a área a estudar é analisada ponto a ponto pelo par de eléctrodos de leitura *MN*, dispostos paralelamente à linha *AB* e mantendo sempre o mesmo afastamento entre si. As heterogeneidades laterais serão detetadas por variações bruscas da resistividade aparente dada na sua forma mais geral pela equação (4). O arranjo dos eléctrodos no terreno encontra-se ilustrado na figura 3.

A análise dos dados é feita a partir da inspeção do mapa com a variação espacial da resistividade aparente. Na ausência de modelação numérica, a interpretação apenas pode ser feita de forma qualitativa com a identificação no mapa de características que podem representar falhas, mineralizações, cavernas, túneis, circulação de fluidos, etc.



*Figura 3 - Dispositivo rectangular*

## **2. Leitura Complementar**

Métodos Eléctricos de Prospecção Geofísica I - Campo Estacionário. Fernando Santos, Gazeta de Física, Vol. 15, Fasc. 4, pp125-133, 1992.

Multímetros (Apêndice 2, Física Experimental - Uma Introdução, de Abreu et al., 1994).

## **5º Trabalho Prático**

# **ESTUDO DO CAMPO ELÉTRICO INDUZIDO NUM MEIO HETEROGÊNICO**

### **1. EQUIPAMENTO NECESSÁRIO**

- Osciloscópio
- Dois multímetros digitais
- Fonte de tensão de frequência variável
- Tanque analógico e placa de contactos
- Fita métrica ou régua

### **2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**

Notas:

- 1) Todos os valores medidos devem ser registados com o erro de leitura.
- 2) As tarefas indicadas com (\*) destinam-se a ser realizadas apenas na fase de análise de dados, posterior ao cumprimento de todas as tarefas de medição exigidas.

#### ***2.1 Preparação do tanque analógico***

Deve começar por "regar" o tanque analógico usando o vaporizador de água. Não ensope a camada de terra. Desta forma pretende-se melhorar o acoplamento elétrico entre os eléctrodos e o solo. Pela mesma razão deve compactar suavemente o solo usando o martelo e uma das tábuas de madeira à sua disposição.

Observe que no tanque se encontram sobrepostas duas camadas, a primeira constituída por terra de vaso e a segunda por areia. A primeira camada encontra-se húmida e a abundância de matéria orgânica e iões torna-a uma boa condutora de electricidade e por isso a sua resistividade será baixa. A camada de areia, é um mau condutor e por isso a sua resistividade será elevada.

**2.1.1** Com a régua ou com uma fita métrica meça a espessura das camadas de terra e de areia. Como essa espessura é variável, deve efetuar várias medições (cerca de 10) em torno de todo o tanque.

**(\*)2.1.2** Calcule as espessuras médias das camadas e a incerteza nessas medidas.

#### ***2.2 Realização de uma SEV***

Nesta experiência utiliza-se apenas a linha central de eléctrodos coincidente com o eixo X. Ligue a fonte de tensão e selecione um sinal sinusoidal com uma frequência aproximada de 110 Hz.

**2.2.1** Com o osciloscópio meça a amplitude pico a pico e o período do sinal fornecido pela fonte de tensão.

**(\*) 2.2.2** Calcule a amplitude e a frequência do sinal sinusoidal. Indique a incerteza de cada medida.

**2.2.3** Com o multímetro no modo *Ohm* meça a resistência entre os eléctrodos de leitura *M* e *N* colocados nas posições -1 e 1 do eixo dos *XX*.

**2.2.4** Realize a montagem esquematizada na figura 1 da introdução. Nesta figura, **A** representa um amperímetro (multímetro no modo ACA), **V** representa um voltímetro (multímetro na escala ACV) e o símbolo com a sinusoidal representa a fonte de tensão alterna. Os eléctrodos de leitura *M* e *N* ficam sempre nas posições -1 e 1 do eixo dos *XX*. Comece por colocar os eléctrodos de injeção *A* e *B* nas posições -4 e 4 do mesmo eixo. Com o osciloscópio observe a ddp nos terminais de leitura *M* e *N*. Meça a amplitude desse sinal.

(\*)**2.2.5** Tente justificar a razão por que se usa uma fonte de tensão alterna em vez de uma fonte de tensão contínua.

**2.2.6** Mantendo fixos os eléctrodos *MN*, afaste os eléctrodos de corrente *A* e *B* simetricamente em relação ao ponto central. Para cada posição *AB* faça a leitura da intensidade de corrente e da diferença de potencial. Comece nas posições (-4,4) e termine nas posições (-18,18). Use uma tabela análoga à tabela I para registar as suas observações.

**2.2.7** Repita o procedimento anterior, partindo agora da posição (-18,18) para a posição (-4,4). Registre as suas observações e os cálculos pedidos na tabela referida em 2.2.6.

(\*)**2.2.8** Usando a expressão (5) da introdução, calcule o coeficiente geométrico *K* e a resistividade aparente  $\rho_a$  para cada par de dados medidos experimentalmente. Preencha com esses valores as restantes colunas da tabela. Faça uma estimativa do erro relativo que obtém para a imprecisão na resistividade aparente.

Tabela I

AB/2 (cm)	$\Delta V$ (mV)	I (mA)	K	$\rho_a$ ( $\Omega m$ )
4				
6				
8				
10				
12				
14				
16				
18				
18				
16				
14				
12				
10				
8				
6				
4				

(\*)**2.2.9** Trace o gráfico bilogarítmico da resistividade aparente em função de AB/2. Nota: A interpretação da curva obtida, por modelação numérica, ou de forma menos precisa, recorrendo a ábacos de curvas, permitiria determinar o valor da resistividade das duas camadas e a espessura da camada de terra.

### 2.3 Realização de um rectângulo

Use a fonte de tensão alterna fornecendo o mesmo sinal que anteriormente. Realize a montagem esquematizada na figura 3 da introdução. Repare que neste dispositivo os eléctrodos de injeção

$AB$  se encontram fixos enquanto que os eléctrodos de leitura  $MN$  são móveis. Use o par de contactos móveis disponíveis na placa de contactos. O afastamento dos eléctrodos é de 2 cm.

**2.3.1** Mantendo fixos os pontos de injeção de corrente  $A$  e  $B$ , utilize o par de eléctrodos móveis para medir a diferença de potencial em diversos pontos cobrindo uniformemente a área  $CDEF$  da figura 3. Cada posição de leitura é identificada pelas coordenadas  $(X_m, Y_m)$  do ponto central do dispositivo de leitura. Utilize uma tabela análoga à tabela II para registar as suas observações de cada um dos perfis verticais. Faça um total de 8 destes perfis, cobrindo sobretudo a região central. Pode optar por não realizar os perfis com a coordenada média  $X_m = -9$  e  $9$  ou  $X_m = -7$  e  $7$ .

Tabela II

$X_m$ (cm)	$Y_m$ (cm)	$\Delta V$ (mV)	$I$ (mA)	$K$	$\rho_a$ ( $\Omega m$ )
	-10				
	-8				
	-6				
	-4				
	-2				
	0				
	2				
	4				
	6				
	8				
	10				

(\***2.3.2** Use a expressão (4) da introdução para calcular a resistividade aparente para cada posição do dispositivo de leitura. As constantes geométricas são dadas na Tabela III. Deve usar as propriedades de simetria do dispositivo rectangular para preencher nas Tabelas referidas em 2.3.1 os valores que não se encontram na Tabela III.

(\***2.3.3** Utilize a matriz da figura 5 para "lançar" os valores de resistividade aparente que obteve. Trace as isolinhas e interprete, de modo sumário o resultado obtido. Num dos pontos do quadrado encontra-se enterrada uma esfera de plástico oca para simular a existência de uma caverna. Descubra onde se encontra a "caverna".

### 3. RELATÓRIO

Indique sempre a turma, o número e nome de cada aluno que constitui o grupo de trabalho assim como a data da realização do trabalho.

Em linhas gerais, o relatório deve ser uma exposição/relato escrito em que se descrevem e analisam todos os factos/dados recolhidos no decorrer de uma experiência. Os registos efetuados servem para responder aos objetivos que originaram a atividade experimental. Faz parte de um relatório o **RESUMO** (sucinto), a **DISCUSSÃO** e as **CONCLUSÕES**. Não se pretende uma introdução.

#### (\***4. Questão (a apresentar em anexo ao relatório)**

Discuta as possíveis aplicações das metodologias aplicadas neste trabalho prático aos domínios da hidrogeologia, pesquisa de jazigos minerais e tectónica.

Tabela III

Xm (cm)	Ym (cm)	K	Xm (cm)	Ym (cm)	K
1.	0.	0.80	7.	0.	0.50
1.	2.	0.82	7.	2.	0.53
1.	4.	0.86	7.	4.	0.59
1.	6.	0.94	7.	6.	0.71
1.	8.	1.06	7.	8.	0.87
1.	10.	1.21	7.	10.	1.08
3.	0.	0.74	9.	0.	0.36
3.	2.	0.76	9.	2.	0.39
3.	4.	0.81	9.	4.	0.46
3.	6.	0.90	9.	6.	0.60
3.	8.	1.02	9.	8.	0.79
3.	10.	1.18	9.	10.	1.04
5.	0.	0.64			
5.	2.	0.66			
5.	4.	0.71			
5.	6.	0.81			
5.	8.	0.95			
5.	10.	1.13			

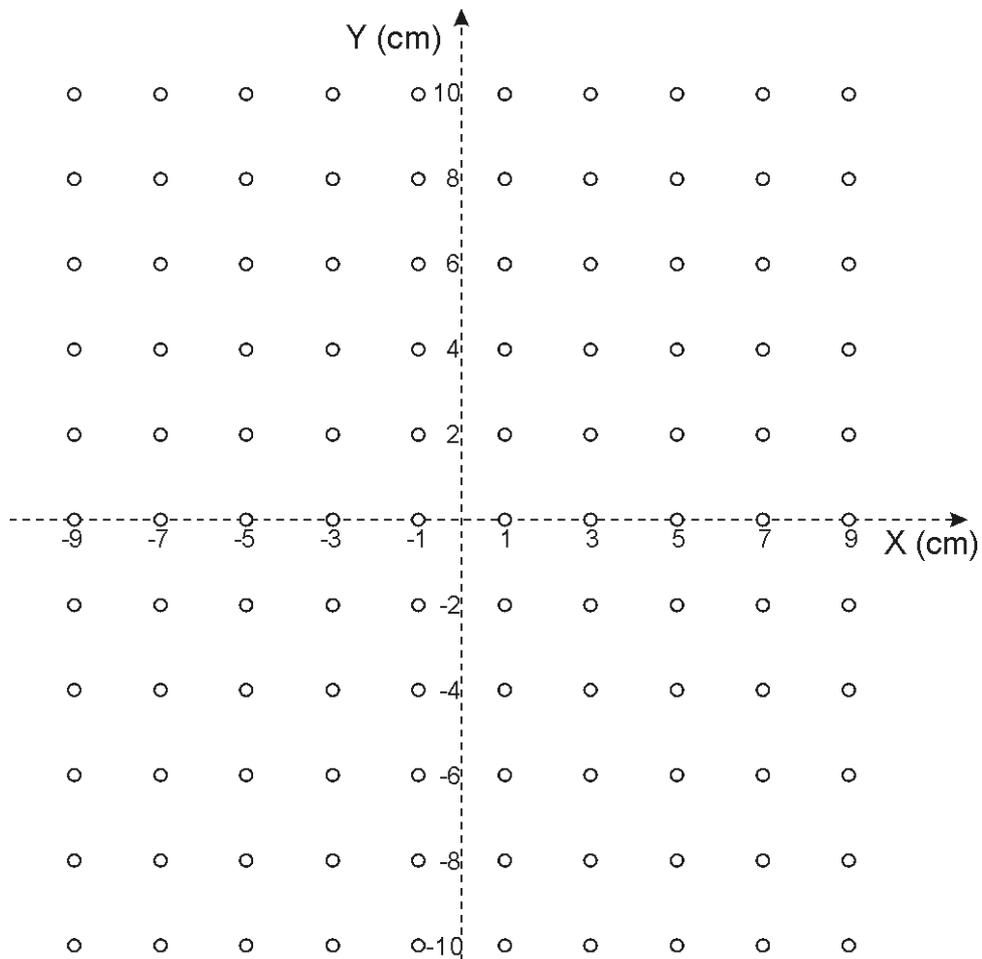


Figura 5