

2.2 MÉTODO DA ELETRORRESISTIVIDADE

2.2.1 Histórico

A eletrorresistividade é um método geoeletrico baseado na determinação da resistividade elétrica dos materiais, tendo sido utilizado nos mais variados campos de aplicação das geociências.

Os métodos geoeletricos possuem sua origem no século XVIII com a descoberta sobre a resistividade das rochas por Gray & Wheeler (1720 *apud* Orellana, 1972) e sobre a condutividade do solo por Watson, em 1746 (*apud* Orellana, *op. cit.*).

Os primeiros trabalhos de aplicação deste método em prospecção mineral datam do início do século XX. Dentre os diversos pesquisadores que contribuíram para o desenvolvimento do método da eletrorresistividade destacam-se Conrad Schlumberger, da "Escola Francesa" e Frank Wenner, da "Escola Americana". Eles foram responsáveis pela introdução do arranjo de quatro eletrodos para medidas de resistividade de superfície.

Diversos autores discutem os princípios teóricos e práticos da eletrorresistividade. Entre eles destacam-se os trabalhos de Parasnis (1970), Orellana (*op. cit.*) e Telford *et al.* (1990).

No Brasil, com a evolução tecnológica dos equipamentos geoeletricos, um grande número de trabalhos científicos foi publicado em diversas áreas: a) geologia básica (Davino, 1970; Braga, 1997; Borges & Gomes, 1999) b) hidrogeologia (Cutrim, 1999; Cutrim, *et al.*, 2001; c) geotecnia (Malagutti, 1991; Braga, 1997); d) geologia ambiental (Elis, 1999, 2001; Shiraiwa *et al.*, 2001).

2.2.2 Fundamentos Teóricos

O método da eletrorresistividade baseia-se no estudo do potencial elétrico tanto dos campos elétricos naturais, existentes na crosta terrestre, como dos campos artificialmente provocados. A partir de medições do potencial elétrico na superfície

pode-se determinar, no subsolo, a existência de corpos minerais e reconhecer estruturas geológicas (Telford *et al.*, 1990).

Os campos elétricos estudados em prospecção são bastante variados. Alguns minerais podem atuar como uma bateria e criar seu próprio campo elétrico, constituindo um método especial chamado de Potencial Espontâneo. O mais freqüente é enviar energia ao terreno, criando assim, campos artificiais cuja deformação permite deduzir características geológicas ou minerais do subsolo. Para tal, utiliza-se corrente contínua ou corrente alternada, sendo esta última a mais usada. As freqüências utilizadas em prospecção são, preferencialmente, as mais baixas possíveis devido ao fato de que a profundidade de penetração diminui a medida que se aumenta a freqüência. Suas principais aplicações encontram-se nos mapeamentos geológicos, mineração, prospecção de água subterrânea, engenharia civil e meio ambiente. Do ponto de vista econômico, a principal vantagem do método elétrico é o seu baixo custo.

Na prospecção elétrica utiliza-se, em geral, três propriedades fundamentais:

- a) Resistividade: define a quantidade de corrente elétrica que atravessa uma camada quando aplicado uma diferença de potencial;
- b) Constante dielétrica: define a capacidade de armazenamento de cargas elétricas nos materiais, geradas pela introdução de corrente alternada de alta freqüência no subsolo; e.
- c) Atividade eletroquímica da rocha: responsável pelo aparecimento de correntes elétricas naturais geradas sem qualquer influência dos campos elétricos artificiais.

Nesta pesquisa será tratado somente o estudo da resistividade, definido pelo método da eletrorresistividade.

Qualitativamente, resistividade é uma medida de dificuldade que um determinado material impõe à passagem de uma dada corrente elétrica ou, o inverso, a condutividade é a facilidade com que a corrente elétrica passa através de um certo material. A resistividade é designada por (ρ), dada em ohm.m e a condutividade (σ), dada em S/m, sendo a relação entre elas $\rho = 1/\sigma$. Numericamente, a resistividade é igual à resistência (em ohm) medida entre os lados opostos de um cubo do material que se deseja medir.

A resistividade elétrica das rochas e minerais é uma propriedade que depende de vários fatores. Por exemplo, a resistividade elétrica das rochas cristalinas (pouco porosas) é normalmente alta. No entanto, se esta rocha estiver muito fraturada, a água que circula através das fraturas contendo sais minerais dissolvidos diminuirá bastante a resistividade da rocha.

Além da presença de água em fraturas e poros das rochas, a presença de minerais condutivos faz baixar o valor da resistividade. No entanto, esta mudança só se faz notar quando a quantidade de minerais condutivos excede 10% do volume da rocha (Fernandes, 1984). A tabela 2.3 mostra algumas resistividades médias de algumas rochas.

Tabela 2.3 - Resistividades médias de algumas rochas (Fernandes, 1984).

| ROCHA OU SOLO | Resistividade (ohm.m) |
|---------------|-------------------------------|
| Granito | de 3×10^2 a $> 10^3$ |
| Diabásio | de 20 a 2×10^4 |
| Sienito | de 10^2 a 10^5 |
| Folhelho | de 10 a 10^4 |
| Calcário | de 50 a 5×10^5 |
| Areia | de 1 a 5×10^3 |
| Silte | de 20 a $1,5 \times 10^3$ |
| Argila | de 5 a $1,5 \times 10^3$ |

A resistividade é dada pela Lei de Ohm:

$$\rho = \frac{V}{I} \cdot \frac{L}{A} \quad (2.20)$$

onde A é a área de uma face do cubo, L é a distância de face a face, ΔV é diferença de potencial entre as faces e I é a intensidade de corrente que passa através da amostra.

Quando se realiza uma prospecção através da injeção de corrente no solo, têm-se os seguintes problemas: a) as dimensões do material através do qual passa a corrente varia com a geometria do arranjo usado para injetar a corrente e, b) o meio não é homogêneo pois engloba o solo, a rocha subjacente, a influência do nível freático e de outras rochas intercaladas (como no caso de um pacote de rochas estratificadas).

Num meio heterogêneo, os valores de área e comprimento já não podem ser definidos *a priori* porque dependem da geometria do arranjo dos eletrodos no terreno e são, portanto, substituídos na fórmula da resistividade por uma constante k , que será diferente para cada arranjo. A resistividade medida desta forma não será mais a resistividade de uma rocha ou de uma camada e sim uma resistividade média do pacote de rochas (incluindo o solo) e, por isto, denomina-se *resistividade aparente*, que é uma expressão da resistividade que o meio teria se fosse homogêneo e não guarda nenhuma relação quantitativa absoluta com o valor da resistividade verdadeira. Ela reflete apenas as propriedades médias do meio pelo qual a corrente passou.

A resistividade aparente depende do tipo de arranjo usado na investigação; da natureza do solo e do subsolo atravessado pela corrente primária (corrente injetada no terreno); e da situação do corpo rochoso (pouco, muito ou não fraturado).

2.2.3 Técnicas de Aquisição de Dados

No método da eletrorresistividade existem várias técnicas de levantamentos de campo, divididas basicamente em sondagem elétrica e caminhamento elétrico, dentro das quais existe uma grande variedade de configurações possíveis de eletrodos que confere ao método grande versatilidade. Normalmente, os ensaios de sondagem elétrica são aplicados quando se deseja uma informação pontual, com observação da variação vertical da resistividade. O caminhamento é aplicado quando o alvo de interesse é o estudo da variação lateral da resistividade, mantendo-se uma profundidade teoricamente constante (Elis, 1998; 2000).

Os dispositivos para medidas de resistividade consistem de um sistema de quatro eletrodos, sendo dois deles usados para enviar uma corrente elétrica (I) ao solo (eletrodos A e B), e os outros dois (eletrodos M e N) usados para medir a diferença de potencial (ΔV) entre eles.

Arranjo Schlumberger

No arranjo Schlumberger, empregado principalmente em Sondagens Elétricas Verticais (SEV's), os quatro eletrodos são dispostos em linha, sendo que os eletrodos de potencial (MN) são colocados entre os de corrente (AB) e distribuídos simetricamente em relação a um ponto central, sendo que a distância MN deve ser menor que a distância AB/2 (Figura 2.7).

A corrente elétrica é injetada no solo através do contato direto feito por eletrodos metálicos ou porosos. A resposta é medida na forma de diferença de potencial (vtagem), observada também através de contato direto com o solo. Tendo-se os valores da corrente e do potencial registrado, é possível estimar a resistividade dos materiais do local investigado.

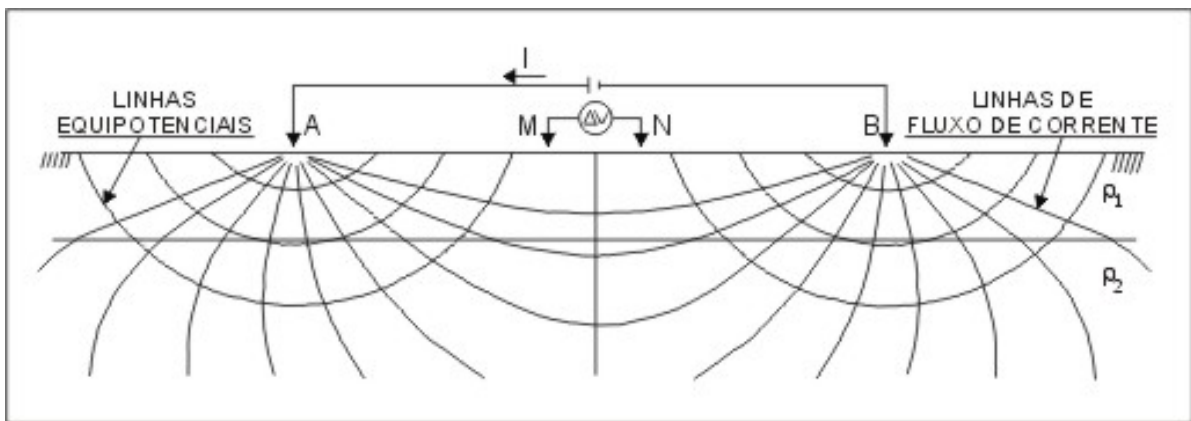


Figura 2.7 - Arranjo Eletródico Schlumberger (Telford *et al*, 1990)

Para terrenos homogêneos e isotrópicos e considerando uma disposição de eletrodos simétricos, a resistividade aparente do meio pode ser obtida através da expressão:

$$\rho = k \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (2.21)$$

O fator geométrico k do arranjo para uma disposição de eletrodos simétrica pode ser obtido através da equação (2.22).

$$k = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{AM} \right) - \left(\frac{1}{AN} \right) - \left(\frac{1}{BM} \right) + \left(\frac{1}{BN} \right) \right]} \quad (2.22)$$

Arranjo Dipolo-Dipolo

O arranjo dipolo-dipolo pode ser utilizado tanto em sondagens elétricas verticais (Figura 2.8) como em caminhamentos elétricos (Figura 2.9). Neste arranjo, os eletrodos AB de injeção de corrente e MN de potencial são dispostos segundo uma linha e o arranjo é definido pelos espaçamentos entre os eletrodos $X=AB=MN$. A profundidade de investigação cresce com a distância entre os eletrodos de potencial e os de corrente (R) e, teoricamente, corresponde a $R/2$. As medidas são efetuadas em várias profundidades de investigação (n), isto é, $n = 1, 2, 3, 4, 5\dots$ é o ponto de intersecção entre uma linha que parte do centro do arranjo de eletrodos AB e outra que parte de centro do arranjo MN, com ângulos de 45° .

Na sondagem elétrica vertical com o arranjo dipolo-dipolo (SDD) os quatro eletrodos podem ser dispostos de diversas maneiras, sendo elas SDD axial, SDD equatorial e SDD azimutal (Figura 2.10). Neste trabalho utilizamos somente a SDD axial, onde os eletrodos são expandidos simetricamente a partir de um centro que permanece fixo e cujas profundidades de investigação crescem com o aumento da distância entre os eletrodos de corrente (A e B) e os eletrodos de potencial (M e N).

Quando o interesse do estudo é saber as variações laterais da resistividade utiliza-se a técnica de Caminhamento Elétrico (CE), onde os eletrodos são expandidos simetricamente a partir de um centro que permanece fixo e cujas profundidades de investigação crescem com o aumento da distância entre os eletrodos de corrente (A e B). A cada medida, os dipolos são deslocados de uma distância igual a X e os dados são novamente obtidos nas profundidades $n = 1, 2, 3, 4, 5\dots$, gerando uma seção de distribuição de pontos de resistividade aparente como ilustrado na Figura (2.11).

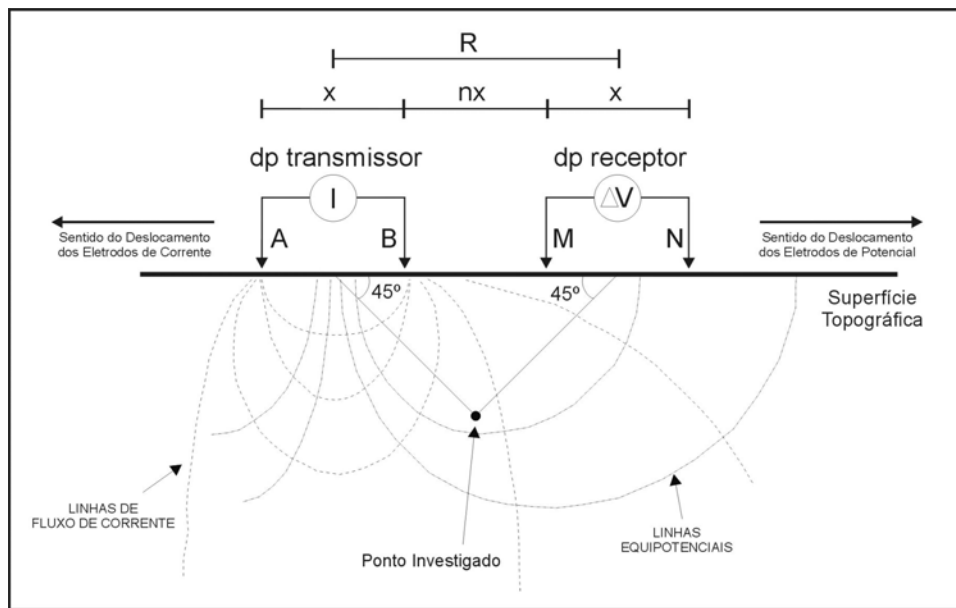


Figura 2.8 – Esquema de Sondagens dipolares (modificado de Strobino, 2001).

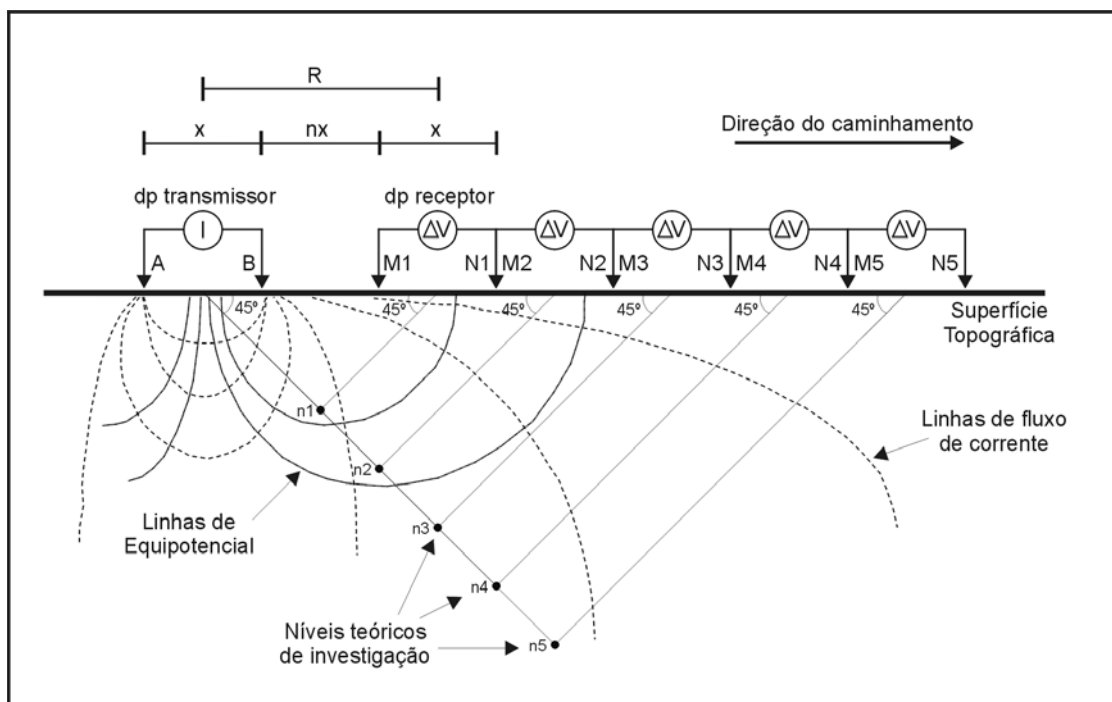


Figura 2.9 – Esquema de arranjo dipolo-dipolo utilizado em caminamentos elétricos (adaptada de Elis, 1998).

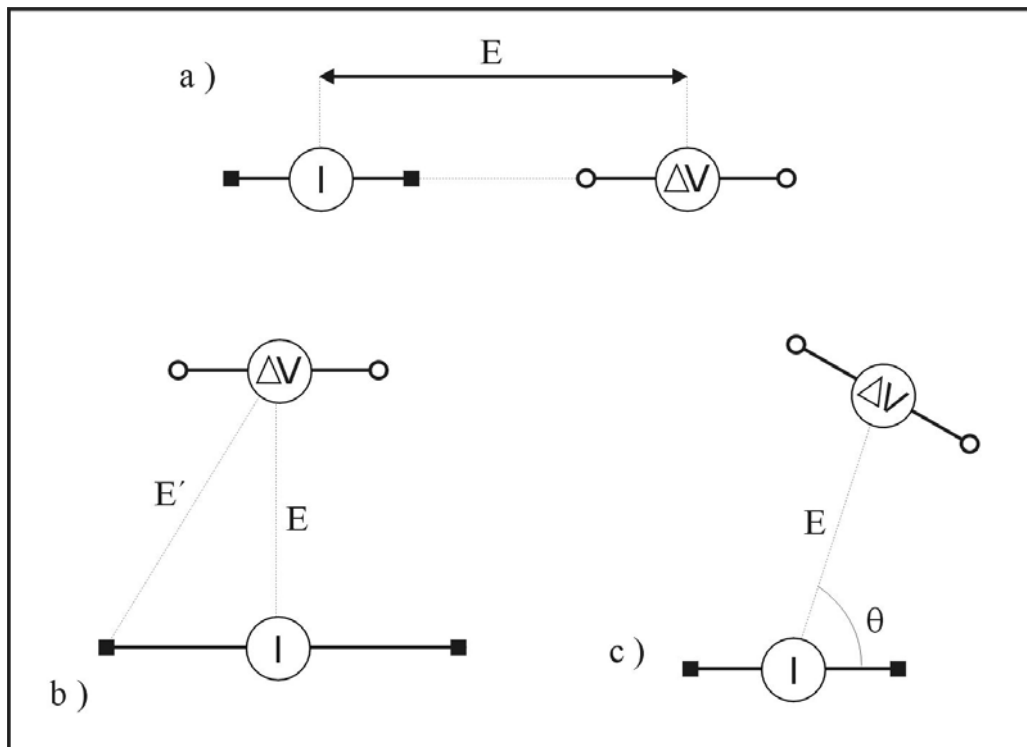


Figura 2.10 – Esquema de configurações eletródicas de sondagens dipolares. a) SDD axial; b) SDD equatorial; e c) SDD azimutal (adaptada de Strobino, 2001)

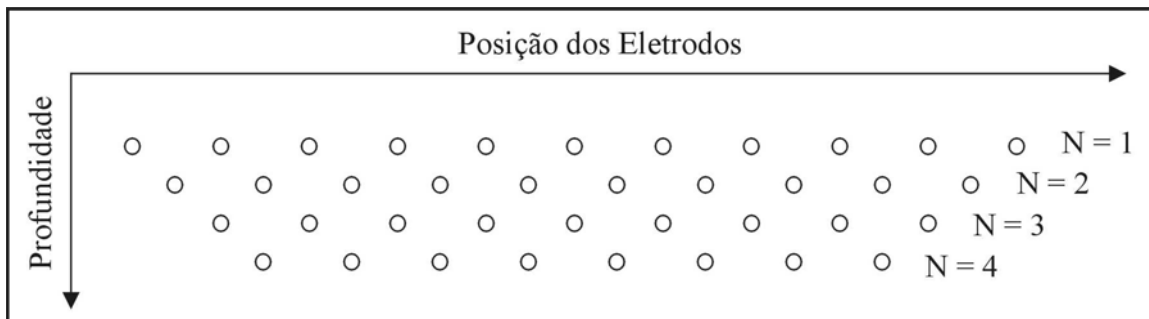


Figura 2.11 – Forma de plotagem dos dados para construção da seção de resistividade aparente (N = níveis de investigação).

A resistividade aparente do meio é dada pela equação 2.21, e o fator geométrico k para o arranjo dipolo-dipolo é dado por:

$$k = 2\pi \cdot G \cdot X \quad (2.23)$$

onde G é expresso pela equação (In. Elis, 1998):

$$G = \frac{1}{\left[\left(\frac{1}{n} \right) - \left(\frac{2}{n+1} \right) + \left(\frac{1}{n+2} \right) \right]} \quad (2.24)$$