

## O ARRANJO PÓLO-DIPOLO COMO ALTERNATIVA AO DIPOLO-DIPOLO EM LEVANTAMENTOS 2D DE ELETORRESISTIVIDADE

Otávio Coaracy Brasil Gandolfo<sup>1,2</sup> e José Domingos Faraco Gallas<sup>2</sup>

Recebido em 11 outubro, 2006 / Aceito em 17 agosto, 2007  
Received on October 11, 2006 / Accepted on August 17, 2007

**ABSTRACT.** This study shows the results of a near-surface investigation conducted to compare pole-dipole with dipole-dipole array. The survey was carried out in a single profile, 40 meters long. In the dipole-dipole array, the inter-electrode spacings used were 2 m and 1 m. In the pole-dipole array, spacing was 1 m. The data collected from the dipole-dipole array were combined into a single section and then compared with the results of the pole-dipole array. The investigation levels used in each array were selected in order to achieve, *a priori*, the same depth in the subsurface. The corresponding apparent resistivity pseudosection (field data) and the model (obtained by an inversion procedure) were very similar, proving that the pole-dipole array is a possible alternative to the dipole-dipole array, since it provided similar results for resolution and depth of investigation, as shown in the final models.

**Keywords:** dipole-dipole array, pole-dipole array, 2D resistivity, geoelectrical imaging, applied shallow geophysics.

**RESUMO.** Este trabalho apresenta os resultados de uma investigação rasa onde foram comparados os arranjos pólo-dipolo e dipolo-dipolo. O levantamento foi realizado em um único perfil com 40 metros de extensão. No arranjo dipolo-dipolo, utilizou-se espaçamentos entre eletrodos igual a 2 m e 1 m. Com pólo-dipolo, o espaçamento utilizado foi de 1 m. Os dados obtidos com o arranjo dipolo-dipolo foram combinados em uma única seção e posteriormente comparados aos resultados obtidos com o arranjo pólo-dipolo. A escolha dos níveis de investigação para cada arranjo foi efetuada de forma a atingir, *a priori*, a mesma profundidade em subsuperfície. As respectivas pseudo-seções de resistividade elétrica aparente (dados de campo) e as seções modeladas (obtidas por processo de inversão) apresentaram grande similaridade, provando ser o arranjo pólo-dipolo uma alternativa viável ao dipolo-dipolo, pois foram alcançados resultados semelhantes em termos de resolução e profundidade de investigação, como foi observado nos modelos finais obtidos.

**Palavras-chave:** arranjo dipolo-dipolo, arranjo pólo-dipolo, eletrorresistividade 2D, imageamento geoeletrico, geofísica aplicada rasa.

---

<sup>1</sup>Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), Av. Prof. Almeida Prado, 532 – 05508-901 São Paulo, SP, Brasil. Tel.: (11) 3767-4853; Fax: (11) 3767-4767 – E-mail: gandolfo@ipt.br

<sup>2</sup> Universidade de São Paulo (USP), Rua do Lago, 562 – 05508-080 São Paulo, SP, Brasil. Tel.: (11) 3091-4232; Fax: (11) 3091-4207 – E-mails: gandolfo@usp.br / jgallas@usp.br

## INTRODUÇÃO

O arranjo dipolo-dipolo vem sendo largamente utilizado em levantamentos de caminhamentos elétricos voltados à prospecção de água subterrânea, mineração e estudos ambientais, graças a algumas de suas características positivas, tais como a facilidade operacional em campo e a sua simetria que lhe é peculiar. Entretanto, alguns aspectos desfavoráveis podem limitar a sua utilização, principalmente no que se refere à baixa razão sinal/ruído que o arranjo apresenta.

O arranjo pólo-dipolo, por sua vez, tem sua utilização mais restrita pelo meio técnico. Entretanto, pode ser uma boa alternativa ao arranjo dipolo-dipolo em levantamentos rotineiros. Como fornece uma melhor razão sinal/ruído, maiores profundidades de investigação podem ser alcançadas. Por outro lado, relativamente ao dipolo-dipolo, tem a desvantagem de apresentar pseudo-seções com efeitos de distorção mais intensos devido ao uso de um único eletrodo no perfil ensaiado.

Para a comparação do desempenho destes dois arranjos, realizou-se uma aquisição de dados sobre um mesmo perfil, em que o objetivo da investigação foi a caracterização de uma pluma de contaminação presente no lençol freático, que se encontrava a pouca profundidade no local (inferior a 2 metros). A aquisição dos dados foi realizada em uma Estação de Tratamento de Esgotos (E.T.E.) situada no município de Salesópolis-SP.

Os resultados obtidos do levantamento não serão abordados em seu mérito neste artigo, que se restringirá apenas à comparação entre os dispositivos eletródicos.

Pretende-se mostrar através deste trabalho que o arranjo pólo-dipolo pode ser uma alternativa viável e eficaz ao tradicional arranjo dipolo-dipolo em levantamentos 2D de eletrorresistividade, alcançando maiores profundidades de investigação sem, entretanto, diminuir a resolução final do modelo geoeletrico obtido com a inversão dos dados de campo.

## CONTEXTO GEOLÓGICO

Na região de Salesópolis as litologias predominantes são os granitóides, ocorrendo também rochas migmatíticas de paleossoma gnáissico do Complexo Costeiro (Rodríguez, 1998). Particularmente, na área onde foram realizados os ensaios, devido à proximidade de um córrego, a litologia é constituída por sedimentos aluviais, compostos essencialmente por areia argilosa e por solo de alteração dos granitóides.

Para a instalação de um poço de monitoramento, localizado nas proximidades da estaca 8 do perfil geofísico, foi realizado um furo a trado até a profundidade de 2,7 metros. O material reti-

rado deste furo, homogeneizado em uma única amostra, apresentou a seguinte composição granulométrica: 51,04% de areia, 13,50% de silte e 42,65% de argila. Portanto, pode ser classificado como uma argila arenosa. O nível d'água local encontra-se extremamente raso, com profundidades médias variando de 0,3 a 2 metros.

## O MÉTODO DA ELETRORRESISTIVIDADE

O método da eletrorresistividade consiste basicamente na injeção de uma corrente ( $I$ ) no solo por intermédio de um par de eletrodos (denominados de  $A$  e  $B$ ) e a medida da diferença de potencial ( $\Delta V$ ) resultante da passagem desta corrente através de outro par de eletrodos situados nas proximidades (denominados  $M$  e  $N$ ). A geometria dos dipolos  $AB$  e  $MN$  no momento da medida definem o fator geométrico  $K$ , dado por (Eq. 1):

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

A resistividade elétrica aparente ( $\rho_a$ ) pode então ser calculada através da Eq. 2:

$$\rho_a = K \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (2)$$

Os quatro eletrodos podem assumir qualquer disposição geométrica sobre a superfície do terreno. As diferentes disposições recebem o nome de "arranjos". Muitos destes, comumente utilizados nos levantamentos de campo, recebem nomes especiais (Schlumberger, Wenner, dipolo-dipolo, pólo-dipolo, pólo-pólo, gradiente, entre outros), apresentando características peculiares, vantagens e desvantagens uns em relação aos outros (Ward, 1990; Gallas, 2000). Duas principais técnicas de investigação podem ser destacadas: a da sondagem elétrica (SEV) e a do caminhamento elétrico.

A Figura 1 apresenta uma ilustração esquemática dos arranjos pólo-dipolo e dipolo-dipolo, que são aqueles geralmente utilizados em levantamentos de caminhamento elétrico.

O espaçamento ou abertura entre eletrodos de corrente ( $AB$ ) e/ou potencial ( $MN$ ), comumente fixo, é denominado de "a". O fator de separação entre eletrodos, variável, é designado por "n", sendo geralmente um número inteiro. O fator geométrico  $K$  (Eq. 1) pode também ser calculado através da Eq. 3:

$$K = 2\pi \cdot G \cdot a \quad (3)$$

A constante  $G$  assume distintos valores de acordo com o arranjo utilizado. De forma geral, o potencial elétrico medido

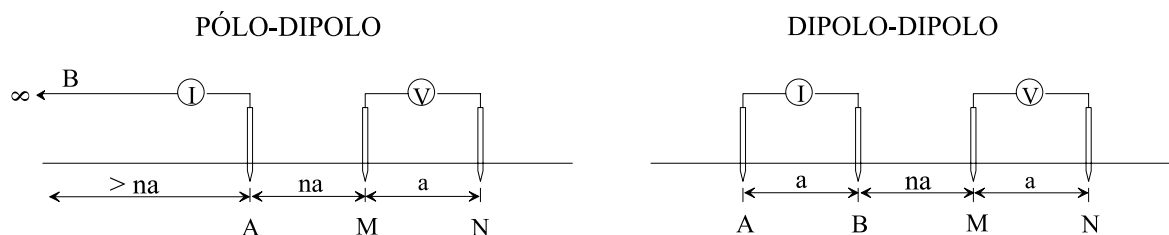


Figura 1 – Ilustração dos arranjos pólo-dipolo e dipolo-dipolo.

será inversamente proporcional ao fator geométrico  $K$  ou ao parâmetro  $G$ .

A Tabela 1 apresenta os diversos valores da constante  $G$  e de  $K$  para os arranjos dipolo-dipolo e pólo-dipolo, considerando uma situação onde o espaçamento entre eletrodos é igual a 1 m.

Tabela 1 – Constantes  $G$  e  $K$  (espaçamento = 1 m) para os arranjos dipolo-dipolo e pólo-dipolo.

Arranjo → Nível	Constante $G$		Fator geométrico $K$ ( $a = 1$ m)	
	Dipolo-dipolo	Pólo-dipolo	Dipolo-dipolo	Pólo-dipolo
1	3	2	18,8	12,6
2	12	6	75,4	37,7
3	30	12	188,5	75,4
4	60	20	377,0	125,7
5	105	30	659,7	188,5
6	168	42	1.055,6	263,9
7	252	56	1.583,4	351,9
8	360	72	2.261,9	452,4
9	495	90	3.110,2	565,5
10	660	110	4.146,9	691,2
11	858	132	5.391,0	829,4
12	1092	156	6.861,2	980,2
13	1365	182	8.576,5	1.143,5
14	1680	210	10.555,8	1.319,5
15	2040	240	12.817,7	1.508,0

Observa-se que os valores de  $G$  e  $K$  do arranjo pólo-dipolo são sistematicamente menores do que os do dipolo-dipolo, ratificando o fato de que o primeiro apresenta uma razão sinal/ruído maior do que o segundo arranjo.

### O arranjo dipolo-dipolo

Na técnica do caminhamento elétrico, o dipolo-dipolo é certamente o mais difundido dentre os diversos arranjos existentes, sendo largamente utilizado em diversas aplicações (mineração, prospecção de água subterrânea, estudos ambientais etc).

O espaçamento “a” entre os dois eletrodos de corrente e potencial permanece fixo durante todo o levantamento, sendo esta abertura definida de acordo com o objetivo do trabalho. Os eletrodos são dispostos ao longo de uma mesma linha e posicionados externamente entre si, conferindo a esta disposição uma baixa razão sinal/ruído.

O levantamento de campo consiste em executar uma série de medidas mantendo-se fixo o espaçamento “a” dos dipolos de emissão ( $AB$ ) e recepção ( $MN$ ), aumentando-se a separação entre eles de acordo com um fator “n-a”. Cada um destes afastamentos corresponde a um nível de investigação em profundidade. Quanto maior for esta distância, maiores profundidades poderão ser alcançadas, tendo como limite de valor aceitável, as leituras de potencial superiores ao nível de ruído presente no local. A Figura 2 apresenta o esquema de uma aquisição com o arranjo dipolo-dipolo.

Para a execução do caminhamento, todo o arranjo é deslocado de uma distância geralmente igual a um espaçamento entre dipolos ( $a$  na Fig. 2), repetindo-se o procedimento anteriormente descrito e possibilitando a construção de uma pseudo-seção de resistividade elétrica aparente ao longo da linha do levantamento. O valor medido é plotado em um ponto da subsuperfície localizado na intersecção das retas que partem 45° do centro dos dipolos, posicionado, portanto, no ponto médio entre estes. Esta forma e plotagem dos dados, largamente utilizada no meio técnico, foi proposta por Hallof (1957).

Para o arranjo dipolo-dipolo, o valor de  $G$  será dado por (Eq. 4):

$$G = \frac{1}{\left(\frac{1}{n} - \frac{2}{n+1} + \frac{1}{n+2}\right)} \quad (4)$$

O arranjo dipolo-dipolo apresenta muitas vantagens, justificando a sua extensa utilização. A principal delas é o fato de ser um arranjo simétrico. Como resultado desta simetria, em uma interpretação qualitativa da pseudo-seção, o correto posicionamento de uma anomalia torna-se mais fácil, comparativamente ao arranjo pólo-dipolo. Outra vantagem, em termos práticos, é a

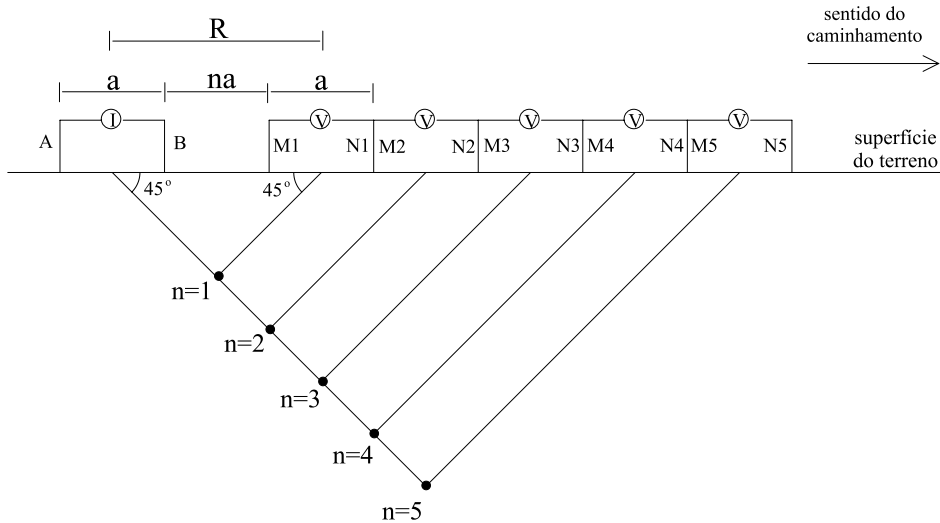


Figura 2 – Esquema de aquisição dos dados utilizando o arranjo D-D.

facilidade operacional em campo.

O dipolo-dipolo apresenta uma boa resolução lateral (horizontal), sendo inferior em desempenho neste quesito para o arranjo gradiente (Ward, 1990). Oferece, portanto, uma boa performance no mapeamento de estruturas verticais, não sendo adequado, de forma contrária, para a identificação de estruturas horizontais (para melhores resultados na definição de estruturas horizontais, deve ser usada a Sondagem Elétrica Vertical – SEV, arranjo Schlumberger).

De acordo com Coggon (1973), o dipolo-dipolo é o que oferece a melhor resolução como um todo, se comparado aos arranjos gradiente e pólo-dipolo. As anomalias observadas podem, entretanto, ser fortemente influenciadas por irregularidades da cobertura superficial.

A principal desvantagem do dipolo-dipolo é a sua baixa razão sinal/ruído em comparação ao pólo-dipolo, que são os arranjos enfocados neste trabalho.

**O arranjo pólo-dipolo**

O arranjo pólo-dipolo, também denominado tripolo, consiste de três eletrodos móveis ao longo do perfil de caminhamento, um de corrente (A) e dois de potencial (MN) cujo espaçamento ( $a = MN$ ) permanece constante (Fig. 3).

O outro eletrodo de corrente que fecha o circuito, B, é mantido fixo a uma distância suficientemente grande, denominada de “infinito” e que corresponde de dez a vinte vezes a maior abertura entre os eletrodos extremos do arranjo que permanecem na linha do levantamento (Keller & Frischknecht, 1966; Telford et al., 1990;

Robain et al., 1999), de forma a garantir que este tenha influência mínima sobre o resto do arranjo.

À semelhança do arranjo dipolo-dipolo, a seqüência de medidas é efetuada em linha, mantendo-se fixo o eletrodo de corrente (A) do perfil e aumentando a distância deste ao dipolo receptor (MN). Da mesma forma, a profundidade de investigação aumenta à medida que aumenta esta distância. Após a seqüência de leituras, o trio de eletrodos é deslocado de uma distância usualmente igual a “a”.

O cálculo das resistividades dá-se da mesma forma que aquela utilizada para o arranjo dipolo-dipolo e o fator G é expresso por:

$$G = \frac{1}{\left(\frac{1}{n} - \frac{1}{n+1}\right)} \tag{5}$$

A pseudo-seção é construída de forma análoga ao dipolo-dipolo, onde o ponto de plotagem correspondente à medida está a 45° das linhas que partem do eletrodo A e do centro dos eletrodos de potenciais M e N.

Uma característica favorável do pólo-dipolo é que para uma mesma intensidade de corrente, o sinal recebido pelos eletrodos de potencial é maior neste arranjo do que no dipolo-dipolo, tendo como conseqüência uma melhor razão sinal/ruído. Isto se deve ao fato de que o potencial de uma fonte polar decresce menos rapidamente com a distância. Outra vantagem do arranjo é a de que durante a aquisição são empregados apenas três eletrodos móveis na linha do levantamento. Além disso, o eletrodo de corrente fixo (“infinito”) pode ser instalado em local de forma a proporcionar uma redução na resistência de contato total no circuito

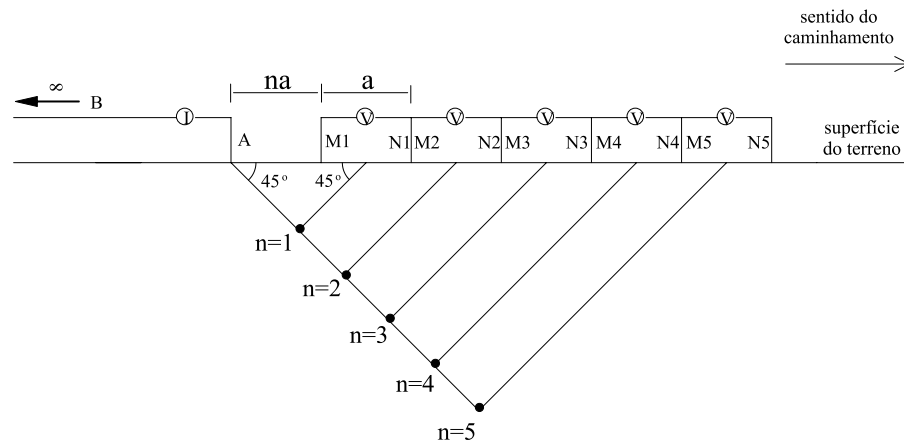


Figura 3 – Esquema de aquisição dos dados utilizando o arranjo P-D.

– resistência de contato solo/eletrodo (Gallas, 2000). Isto garante a emissão de grande intensidade de corrente, contribuindo ainda mais para a elevação da razão sinal/ruído.

Coggon (1973) observou que anomalias detectadas em aquisição com o pólo-dipolo apresentam similaridade com aquelas observadas com o arranjo dipolo-dipolo, tanto quanto a intensidade como na conformação das mesmas, porém com menor resolução.

A principal desvantagem deste arranjo está relacionada à sua assimetria. Caminhamentos realizados em sentidos opostos fornecem distintas pseudo-seções, o que pode dificultar o correto posicionamento de uma anomalia com base em uma interpretação meramente qualitativa. Outra desvantagem está na indisponibilidade, em determinados locais, de espaço para a instalação do eletrodo de corrente a ser posicionado no “infinito”.

### AQUISIÇÃO DOS DADOS

Os dados do caminhamento elétrico foram obtidos em um único perfil de 40 metros de extensão, utilizando os arranjos dipolo-dipolo e pólo-dipolo, para que os resultados obtidos em um mesmo local pudessem ser diretamente comparados.

Em uma primeira aquisição, utilizou-se o arranjo dipolo-dipolo com espaçamento entre eletrodos igual a 2 metros e oito níveis de investigação em profundidade. Repetiu-se o levantamento com o mesmo arranjo, porém com eletrodos espaçados de 1 metro e mantendo-se os mesmos oito níveis de investigação. Em uma segunda etapa, os dados foram levantados com o arranjo pólo-dipolo, espaçamento entre eletrodos igual a 1 m e treze níveis de investigação em profundidade.

A Tabela 2 apresenta os parâmetros de levantamento para

cada arranjo empregado.

A escolha de treze níveis de investigação para o levantamento com o arranjo pólo-dipolo deve-se ao fato de que o fator geométrico  $K$  para o 15° nível nesta configuração (1.508,0) está na mesma ordem de grandeza do que o fator  $K$  para o arranjo dipolo-dipolo, na mesma geometria (espaçamento entre eletrodos igual a 1 m), para o 7° nível de investigação (1.583,4) como pode ser observado na Tabela 1 apresentada anteriormente.

Supondo uma mesma intensidade de corrente e um meio homogêneo, e sendo o fator geométrico  $K$  uma correção da atenuação do campo elétrico, que decresce exponencialmente com a distância da fonte – eletrodo(s) de corrente, então se torna claro que quanto menor é este fator geométrico, maior será o valor da d.d.p. medida nos eletrodos de potencial e empregada no cálculo das resistividades. Desta forma, a razão sinal/ruído do 15° nível do pólo-dipolo tem a mesma ordem de grandeza que o 7° nível do dipolo-dipolo, o que assegura ao primeiro uma potencialidade de aumento na profundidade de investigação maior que no segundo, pelo incremento no número de níveis investigados e com uma razão sinal/ruído confiável.

A seção do dipolo-dipolo, reunindo os dois espaçamentos utilizados, quais sejam, 1 m (garantindo mais detalhe e menor penetração) e 2 m (menor resolução, maior penetração) será então comparada à seção do pólo-dipolo, onde foi utilizado um único espaçamento (1 m, o menor espaçamento entre eletrodos) e mais níveis de investigação em profundidade (treze, no caso, garantidos pela elevada razão sinal ruído do arranjo).

A comparação dos resultados obtidos, avaliando-se o desempenho dos arranjos quanto à resolução e profundidades de investigação, demonstrará que o pólo-dipolo constitui-se em uma alternativa viável ao dipolo-dipolo.

**Tabela 2** – Parâmetros de aquisição, utilizados no levantamento sobre o perfil de 40 metros, com os arranjos dipolo-dipolo e pólo-dipolo.

Aquisição	Arranjo	Espaçamento entre eletrodos (a)	Número de níveis de investigação (n)	Extensão	Número de medidas
#1	dipolo-dipolo	2 m	8	40 m	116
#2	dipolo-dipolo	1 m	8	40 m	276
#3	pólo-dipolo	1 m	13	40 m	429

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

Uma forma de plotagem dos dados em uma pseudo-seção, distinta à de Hallof, foi proposta por Edwards (1977) que determinou coeficientes empíricos para diversos arranjos, relacionando o nível de investigação com as respectivas profundidades. As profundidades de Edwards, denominadas pelo autor de “profundidades efetivas”, são aproximadamente metade das profundidades conforme a plotagem de Hallof, aqui denominadas de “profundidades teóricas”.

Edwards (*op cit.*) observou que dados adquiridos sobre um mesmo perfil de levantamento e com distintos espaçamentos (“a”) entre dipolos, podem ser combinados em uma única pseudo-seção, desde que plotados de acordo com os coeficientes empíricos por ele determinados. A seção obtida através desta metodologia de plotagem, denominada “pseudo-seção modificada”, apresenta resultados consistentes e geralmente satisfatórios.

A construção de uma “pseudo-seção modificada”, utilizando diversos espaçamentos, tem como consequência um aumento de resolução devido à sobreposição de valores medidos. Além do mais, podem ser alcançadas maiores profundidades de investigação sem, entretanto, causar a perda de resolução nas porções mais rasas da subsuperfície. Utilizou-se este procedimento na construção da “pseudo-seção modificada” dipolo-dipolo com os espaçamentos iguais a 1 m e 2 m, composta por 392 medidas.

A Figura 4 apresenta as respectivas pseudo-seções do levantamento com o arranjo dipolo-dipolo (aquisição #1 e #2), plotadas conforme Hallof e a “pseudo-seção modificada”, combinando os dois espaçamentos ( $a = 2$  m e  $a = 1$  m) em uma única seção e plotadas de acordo com os coeficientes empíricos de Edwards.

A Figura 5 apresenta os dados obtidos com o arranjo pólo-dipolo, também na forma de pseudo-seção e plotados conforme Edwards. O eletrodo de corrente posicionado no “infinito” está localizado à esquerda da seção.

Pode ser observada a semelhança entre a pseudo-seção pólo-dipolo da Figura 5 com a “pseudo-seção modificada” dipolo-dipolo da Figura 4C.

Para a inversão dos dados que geraram os modelos que serão apresentados, foi utilizado o programa RES2DINV (Geotomo Software, 2004). Como os valores medidos não apresentaram pronunciadas variações dos valores de resistividade aparente, sob o enfoque de processamento do programa usado (15 a 300 ohm.m, aproximadamente), optou-se por utilizar o método de inversão com vínculo de suavidade que minimiza a norma  $L_2$ , produzindo imagens onde a variação do parâmetro do modelo ocorra de forma gradual. Outro parâmetro ajustado em função da característica do dado foi a razão horizontal/vertical do filtro de nivelamento. Para dar ênfase às feições horizontais sobre as verticais, optou-se por utilizar um valor igual a 0,5. A resistividade foi também limitada por um fator igual a cinco vezes.

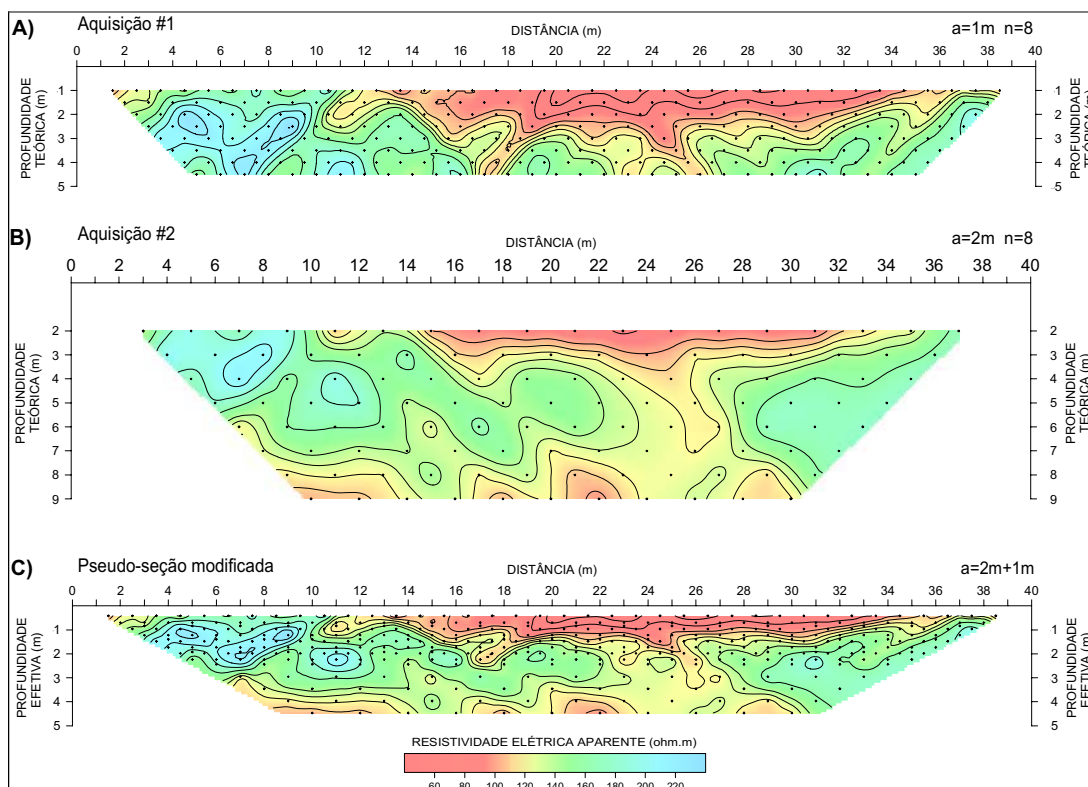
A Figura 6 apresenta a seção modelada relativa à aquisição de dados com o arranjo dipolo-dipolo e eletrodos espaçados de 1 metro.

Com este espaçamento entre eletrodos e oito níveis de investigação, foi possível o imageamento de apenas duas camadas geoeletricas: um estrato menos resistivo superior (em tonalidades avermelhadas) sobreposto a outro, com predominância de valores mais altos de resistividade (em tons de azul).

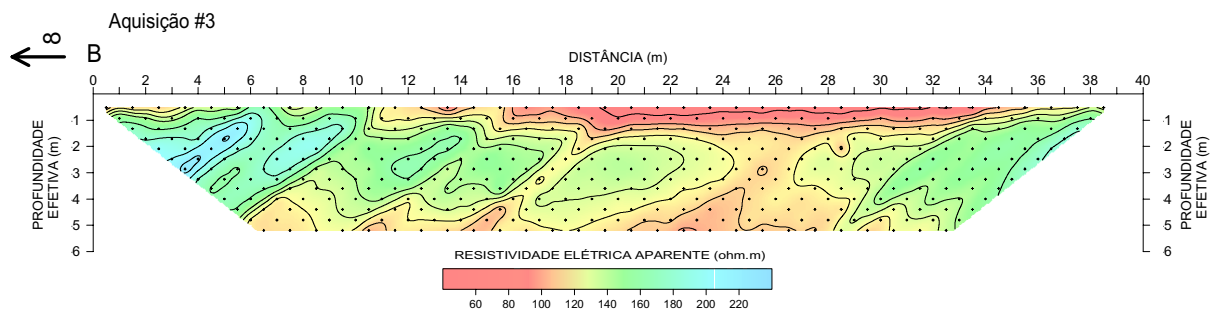
Entretanto, com o espaçamento entre eletrodos igual a 2 m e mantendo-se os mesmos oito níveis de investigação em profundidade, foi identificada a presença de uma terceira camada geoeletrica, mais profunda, com valores de resistividade inferiores aos da segunda camada (Fig. 7).

A presença desta terceira camada pode também ser notada na pseudo-seção de resistividade aparente correspondente ao modelo (Fig. 4B). Observa-se, portanto o seguinte padrão de distribuição vertical de resistividades:  $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$ .

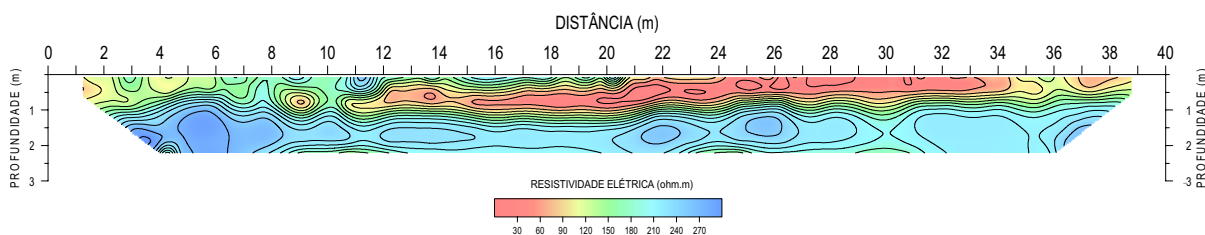
A Figura 8 apresenta a seção modelada dipolo-dipolo, agora contemplando de forma conjunta os dados obtidos com os



**Figura 4** – Pseudo-seções dipolo-dipolo, espaçamento igual a 1 m (A) e a 2 m (B) plotadas segundo Hallof (1957). Pseudo-seção modificada, espaçamento igual a 2 m e 1 m combinados (C), plotada de acordo com Edwards (1977).



**Figura 5** – Pseudo-seção do arranjo pólo-dipolo, espaçamento igual a 1 m e 13 níveis de investigação (plotagem de acordo com Edwards, 1977).



**Figura 6** – Seção modelada utilizando o arranjo dipolo-dipolo e espaçamento igual a 1 m.

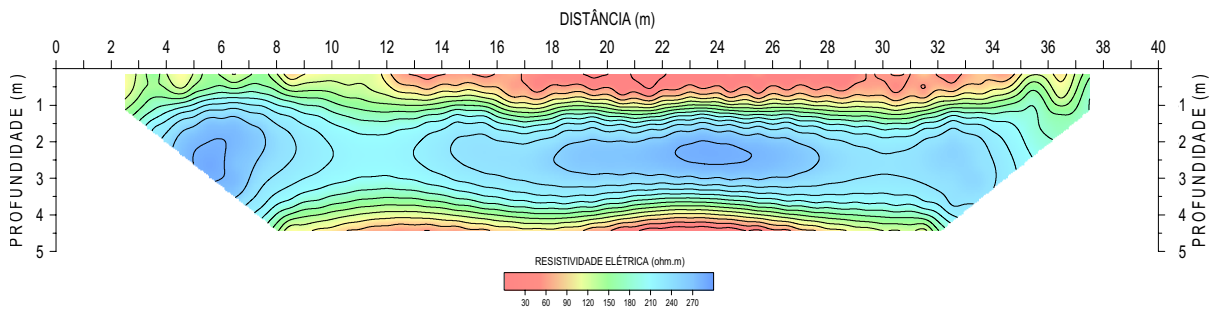


Figura 7 – Seção modelada utilizando o arranjo dipolo-dipolo e espaçamento igual a 2 m.

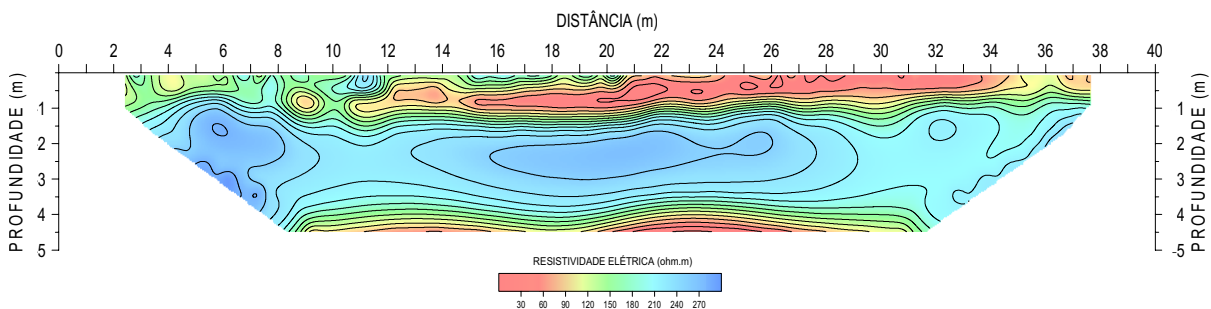


Figura 8 – Seção modelada, arranjo dipolo-dipolo, abertura entre eletrodos igual a 2 m e 1 m.

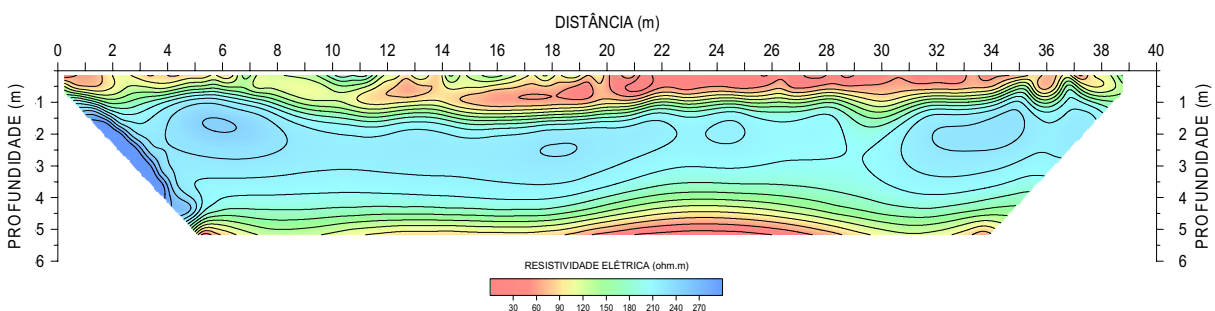


Figura 9 – Seção modelada, arranjo pólo-dipolo, abertura entre eletrodos igual a 1 m.

dois espaçamentos entre eletrodos (2 m e 1 m). O software RESDDINV permite o processamento de dados que contenham dois ou mais diferentes espaçamentos entre dipolos, combinados em um único arquivo.

A combinação de distintos espaçamentos possibilita o aumento do nível de detalhe nas porções mais rasas da seção e garante suficiente profundidade de investigação, possibilitando o imageamento da terceira camada.

A inversão dos dados, adquiridos com o arranjo pólo-dipolo e utilizando os respectivos parâmetros apresentados na Tabela 2, quais sejam, pequeno espaçamento entre eletrodos (1 m) e mais níveis na aquisição (treze, contra oito utilizados no arranjo dipolo-

dipolo) deverá, a princípio, produzir modelo semelhante ao apresentado nas Figuras 7 e 8 quanto à profundidade de investigação. A Figura 9 apresenta a seção modelada com a utilização do arranjo pólo-dipolo e os parâmetros anteriormente descritos.

A despeito das resistividades da camada intermediária, que exibiram valores ligeiramente mais baixos do que os modelos das Figuras 7 e 8, os resultados obtidos apresentaram uma grande semelhança.

Utilizando-se um menor espaçamento entre eletrodos (1 m) e mais níveis de investigação (treze), foram alcançadas maiores profundidades, comparáveis às alcançadas com o arranjo dipolo-dipolo com espaçamento igual a 2 m e oito níveis de investigação.



O imageamento da terceira camada, mais condutiva, ratifica esta afirmativa.

O menor espaçamento entre eletrodos permitiu também uma boa resolução da camada geoeétrica mais rasa (primeira camada), da mesma forma que a obtida pela seção modelada dipolo-dipolo da Figura 7, apresentada anteriormente.

## CONCLUSÕES

A comparação dos resultados obtidos, utilizando-se os arranjos pólo-dipolo e dipolo-dipolo, sob a forma de modelos resultantes da inversão dos dados, apresentaram grande similaridade em termo de resolução.

Quanto à profundidade atingida, ficou demonstrado que resultados semelhantes também foram alcançados, combinando-se os dados do arranjo dipolo-dipolo, obtidos com os dois distintos espaçamentos (2 m e 1 m) e comparando-os aos resultados do levantamento pólo-dipolo adquirido com o menor espaçamento (1 m) e mais níveis de investigação.

O programa de inversão 2D de resistividade, que gerou os modelos apresentados neste trabalho, permitiu a eliminação de eventuais distorções observadas nas pseudo-seções de resistividade aparente. Os dados obtidos com os distintos arranjos (dipolo-dipolo e pólo-dipolo) e devidamente processados, resultaram em imagens que apresentaram grandes semelhanças entre si, em termos de resolução e profundidade de investigação. A escolha dos parâmetros de campo, para que sejam alcançados os objetivos, deve ser feita de forma criteriosa.

Os resultados obtidos neste trabalho de investigação rasa mostram a possibilidade da utilização do arranjo pólo-dipolo como uma forma alternativa e viável ao arranjo dipolo-dipolo, quando se almeja alcançar mais profundidades, produzindo modelo similar e sem significativa perda de resolução.

## NOTAS SOBRE OS AUTORES

**Otávio Coaracy Brasil Gandolfo.** Graduado em Física pela PUC-SP em 1987 e em Geofísica pelo IAG-USP em 1991. Concluiu o mestrado em Geociências e Meio Ambiente, ênfase em Geofísica Aplicada pela UNESP – Universidade Estadual Paulista em 1999. Doutorando em Geociências (programa Recursos Minerais e Hidrogeologia) no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo – USP desde 2003. Atuou na iniciativa privada como prestador de serviços em geofísica aplicada de 1997 a 2003. Atualmente é Pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo-IPT. Áreas de interesse: geofísica aplicada à hidrogeologia, geologia de engenharia e geologia ambiental; integração de métodos geofísicos.

**José Domingos Faraco Gallas.** Bacharelou-se em Geologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul em 1978. Concluiu mestrado em Geofísica em 1990 pela Universidade Federal do Pará. Doutorou-se em Geociências e Meio Ambiente, ênfase em Geofísica Aplicada pela UNESP – Universidade Estadual Paulista em 2000. Foi Pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT de 02/1979 até início de 02/2002. Atualmente é Professor Doutor do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo – USP. Áreas de interesse: geofísica aplicada à prospecção mineral, hidrogeologia, geologia de engenharia e geologia ambiental.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP pelo auxílio concedido em Projeto de Apoio à Pesquisa (processo nº 04/01239-8) que possibilitou a execução deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- COGGON JH. 1973. A comparison of IP electrode arrays. *Geophysics*, 38(4): 737–761.
- EDWARDS LS. 1977. A modified pseudosection for resistivity and induced-polarization. *Geophysics*, 42(5): 1020–1036.
- GALLAS JDF. 2000. Principais Métodos Geoeétricos e suas Aplicações em Prospecção Mineral, Hidrogeologia, Geologia de Engenharia e Geologia Ambiental. 174p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- GEOTOMO SOFTWARE. 2004. RES2DINV (v.3.54) and RES3DINV (v.2.14) for Windows 98/ME/2000/NT/XP. *Geoelectrical Imaging 2D & 3D*.
- HALLOF PG. 1957. On the interpretation of resistivity and induced polarization measurements: Cambridge, MIT, Ph.D. thesis.
- KELLER GV & FRISCHKNECHT FC. 1966. *Electrical methods in geophysical prospecting*. Oxford: Pergamon Press, 517p.
- ROBAIN H, ALBOUY Y, DABAS M, DESCLOITRES M, CAMERLYNCK C, MECHLER P & TABBAGH A. 1999. The location of infinite electrodes in pole-pole electrical surveys: consequences for 2D imaging. *Journal of Applied Geophysics*, 41: 313–333.
- RODRIGUEZ SK. 1998. *Geologia Urbana da Região Metropolitana de São Paulo*. 171p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- TELFORD WM, GELDART LP & SHERIFF RE. 1990. *Applied geophysics*. 2ed. Cambridge: Cambridge University Press, 770 p.
- WARD SH. 1990. Resistivity and induced polarization methods. *Geotechnical and environmental Geophysics*. Tulsa: Society of Exploration Geophysicists (SEG), v.1: Review and Tutorial, p. 147–89.