

Ministério de Minas e Energia
CPRM – Serviço Geológico do Brasil

**“CARTAS DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS
GRAVITACIONAIS DE MASSA E INUNDAÇÕES”**

GEOFÍSICA

(Marília)

Autores: Jairo J. C. Andrade; Rafael R. Severino; Luiz G. R. Pinto



São Paulo, 13 de Novembro de 2018

Sumário

| | |
|--|-----------|
| INTRODUÇÃO | 3 |
| MÉDOTOS E MATERIAIS | 3 |
| MÉTODOS ELÉTRICOS..... | 3 |
| Sondagem Elétrica Vertical | 4 |
| Caminhamento Elétrico | 5 |
| Equipamentos Utilizados | 6 |
| MÉTODOS ELETROMAGNÉTICOS | 7 |
| Caminhamento Eletromagnético..... | 8 |
| Equipamentos Utilizados | 9 |
| AQUISIÇÃO DOS DADOS..... | 10 |
| PROCESSAMENTO DOS DADOS..... | 13 |
| Sondagem Elétrica Vertical | 13 |
| Caminhamento Elétrico | 14 |
| Caminhamento Eletromagnético..... | 17 |
| INTERPRETAÇÃO..... | 18 |
| Sondagem Elétrica Vertical | 18 |
| Caminhamento Elétrico | 19 |
| Caminhamento Eletromagnético..... | 22 |
| REFERÊNCIAS..... | 23 |
| APÊNDICE | 24 |

INTRODUÇÃO

No projeto “Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações” foi realizada campanha de geofísica terrestre, levantamento elétrico e eletromagnético, objetivando estimar a espessura do solo, profundidade do topo do cristalino rochoso e mapear feições e estruturas geológicas de interesse.

O levantamento se deu na região que abrange a cidade de Marília entre os dias 22 e 27 de outubro de 2018, com equipe composta por dois geofísicos.

MÉTODOS E MATERIAIS

MÉTODOS ELÉTRICOS

Os métodos elétricos utilizam correntes contínuas ou alternadas de baixa frequência para investigar as propriedades elétricas da subsuperfície. Nesse trabalho foram usados os métodos de resistividade a fim de estudar descontinuidades horizontais e verticais nas propriedades elétricas do solo e associá-las aos objetivos do projeto. Nos métodos de resistividade, correntes elétricas geradas artificialmente são introduzidas no solo e as diferenças de potencial resultantes são medidas na superfície.

A resistividade elétrica é uma das propriedades físicas mais variáveis. A maior parte dos minerais formadores das rochas é isolante e a corrente elétrica é conduzida através de uma rocha principalmente pela presença de íons nas águas dos poros. Assim, o aumento da porosidade e do conteúdo de sais são os principais fatores que diminuem resistividade de rochas. Secundariamente, a presença de argilo-minerais, minerais sulfetados e granulação grosseira.

A resistividade elétrica é determinada pela seguinte equação:

$$\rho = K \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

Onde (I) é a corrente elétrica introduzida no solo, (ΔV) é a diferença de potencial medida e (K) é um fator geométrico que depende das técnicas e

arranjos utilizados nos levantamentos. As técnicas de campo utilizadas foram a Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e o Caminhamento Elétrico (CE).

Sondagem Elétrica Vertical

A técnica da SEV consiste numa sucessão de medidas de um parâmetro geoeletrico efetuadas a partir da superfície do terreno. São injetadas correntes (I) no solo através de dois eletrodos nos pontos A e B, e é medida a diferença de potencial (ΔV) entre os outros dois eletrodos nos pontos M e N (Figura 1).

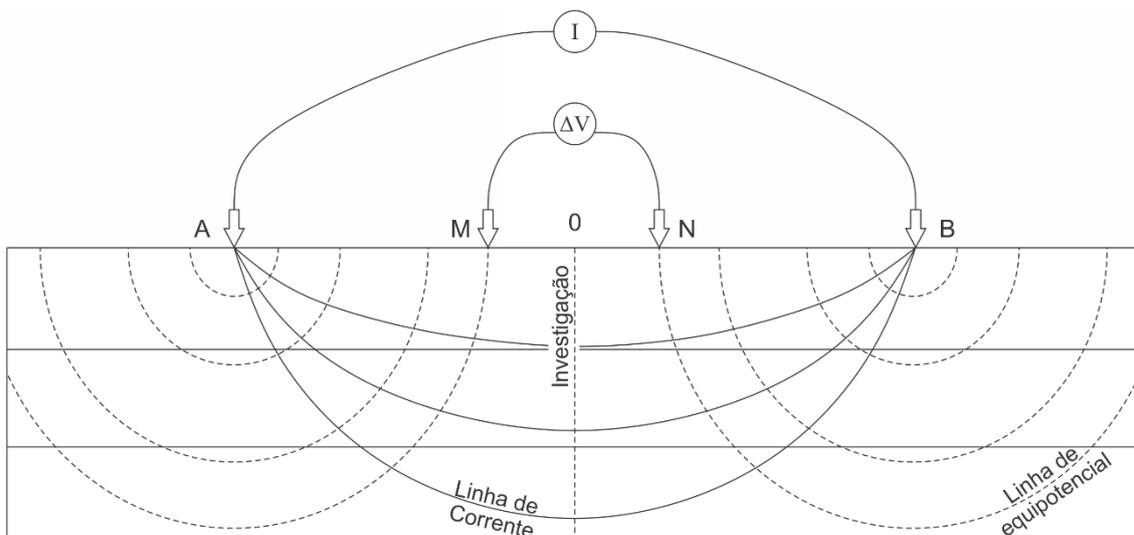


Figura 1 - Técnica da sondagem elétrica vertical (SEV).

Uma vez que se conhece as distâncias \overline{AM} e \overline{AN} , pode-se medir a corrente (I) injetada e a diferença de potencial (ΔV), e calcular a resistividade aparente (ρ_a) com a seguinte equação:

$$\rho_a = \pi \cdot \frac{\overline{AM} \cdot \overline{AN}}{\overline{MN}} \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (2)$$

O arranjo utilizado foi o Schlumberger em que os eletrodos (AB) são afastados do centro do arranjo a cada leitura, investigando cada vez mais profundo, e os eletrodos (MN) se mantêm fixos. As leituras deste arranjo estão menos sujeitas as variações laterais no parâmetro físico medido, irregularidades na superfície topográfica e ruídos produzidos por fontes artificiais (Braga, 2016).

Caminhamento Elétrico

A técnica do CE se baseia na análise e interpretação de um parâmetro geológico, obtido com base em medidas efetuadas na superfície do terreno, com espaçamento constante entre os eletrodos AMNB. Por meio desta técnica, investigam-se, ao longo de linhas, as variações laterais do parâmetro físico a uma ou mais profundidades determinadas; com isso, a direção da linha de investigação permanece fixa e o centro do arranjo AMNB varia com o seu desenvolvimento. Para o desenvolvimento desta técnica, podem ser usados vários tipos de arranjos de desenvolvimento, como Schulumberger, Wenner, gradiente, dipolo-dipolo, polo-dipolo etc.

O Arranjo utilizado foi o dipolo-dipolo em que os eletrodos de corrente (AB) e de potencial (MN) são alinhados em uma mesma direção com espaçamento constante (Figura 2). Neste levantamento foram utilizados simultaneamente 10 dipolos de recepção (MN) disposto ao longo do sentido de aquisição de dados (cada dipolo corresponde a um nível de investigação).

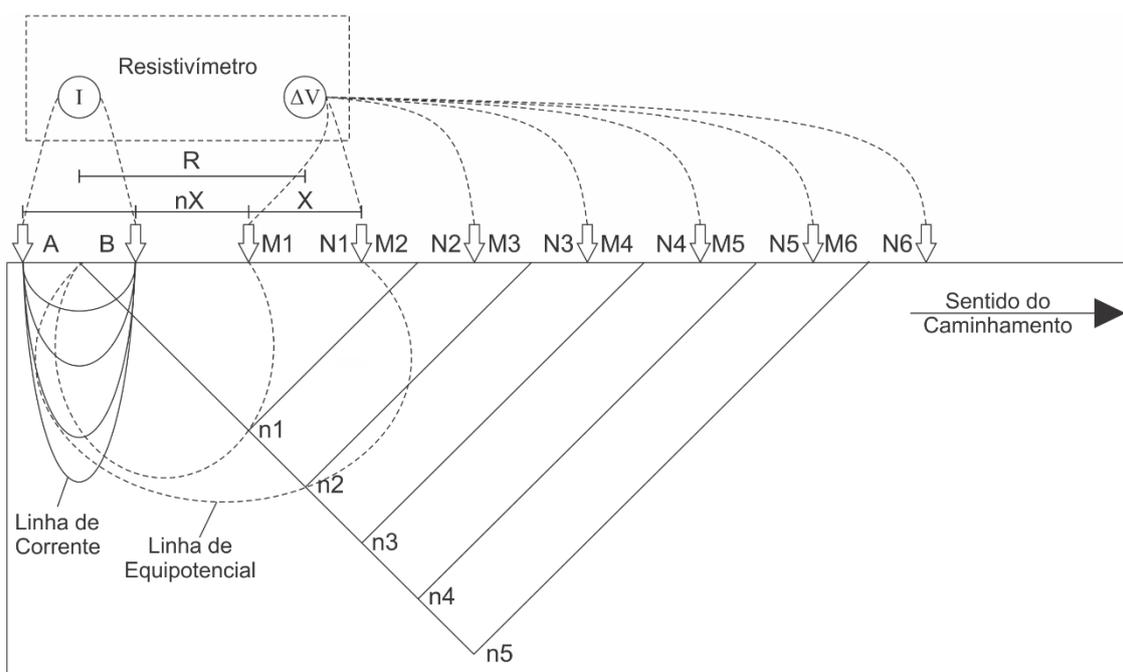


Figura 2 - Esquema do CE, arranjo dipolo-dipolo.

Deste modo é possível calcular a resistividade aparente (ρ_a) com a seguinte equação:

$$\rho_a = 2\pi GX \cdot \frac{\Delta V}{I}$$

Com

$$G = \frac{1}{\frac{1}{n} - \frac{2}{n+1} + \frac{1}{n+2}} \quad (3)$$

Em que: (X) é o espaçamento dos dipolos (AB) e (MN) adotado; (n) é o nível de investigação correspondente (Braga, 2016).

Equipamentos Utilizados

No levantamento foi utilizado o resistímetro Syscal Pro (Figura 3), que possui 10 canais de leitura integrados. Para a SEV estavam disponíveis quatro rolos de cabos sendo dois de 100 m e dois de 350 m. Para o CE estavam disponíveis dois conjuntos de cabos com abertura máxima, entre cada canal, de 5 e 20 m com 10 canais de medidas cada, permitindo leituras automáticas em todos os eletrodos. Os equipamentos auxiliares foram: uma bateria de 12 V; eletrodos metálicos para injeção de corrente elétrica e medição do potencial elétrico; cabos para conexões entre equipamento e eletrodos; marretas para fixação dos eletrodos e trenas para marcar as posições dos eletrodos.



Figura 3 - Syscal Pro.

As coordenadas foram registradas com o GPS portátil Garmin 62sc, admitindo-se uma precisão máxima horizontal de 5 m e vertical de 10 m. Essas são também as precisões dos produtos geofísicos gerados.

MÉTODOS ELETROMAGNÉTICOS

O método Eletromagnético Indutivo mede a condutividade elétrica em subsuperfície partindo do princípio que uma corrente elétrica alternada passa por meio de uma bobina transmissora, que resulta em um campo eletromagnético primário. A propagação deste campo em um meio condutor no subsolo, assumido como meio homogêneo, resulta em correntes secundárias alternadas que produzem um campo eletromagnético secundário (Figura 4).

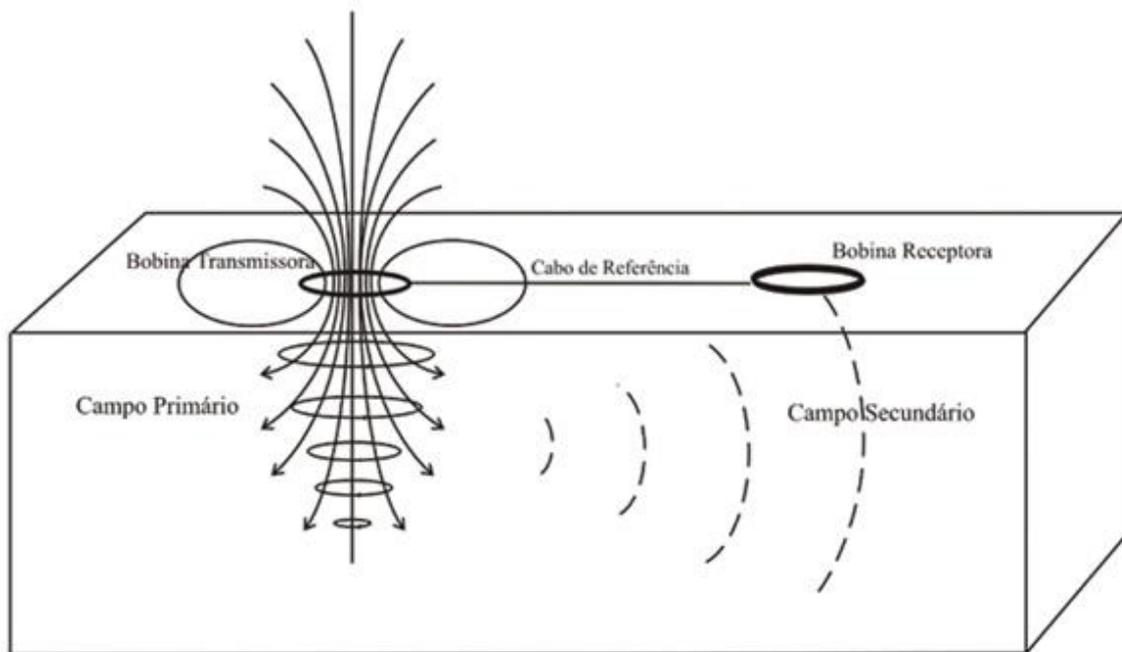


Figura 4: Representação esquemática do Princípio do Método Eletromagnético Indutivo.

Uma bobina receptora posicionada dentro da área de influência dos campos primário e secundário capta a corrente induzida resultante da soma dos campos gerados. Assim, a condutividade elétrica pode ser obtida por meio da seguinte equação:

$$\sigma_a = \frac{4}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \mu \cdot d^2} \cdot \left(\frac{H_p}{H_s} \right) \quad (4)$$

sendo H_p o campo magnético primário e H_s o campo magnético secundário ; σ_a é a condutividade aparente em S/m; μ é a permeabilidade magnética em Hz/m; f é a frequência em Hz e d é o espaçamento entre as bobinas em m.

Essa condutividade elétrica aparente (σ_a) não corresponde ao valor das condutividades reais das rochas, mas sim uma média dos valores de condutividade das rochas presentes no pacote do subsolo envolvido pelos campos magnéticos. E por sua vez a condutividade elétrica varia em função do tipo de solo ou rocha, porosidade, permeabilidade, grau de saturação e em função das propriedades eletroquímicas dos fluídos de preenchimento de poros, este último apresenta-se como fator dominante em muitos casos (McNeill, 1980) (Telford, 1990).

Caminhamento Eletromagnético

A técnica de campo utilizada foi o Caminhamento Eletromagnético (CEM) com o cabo de referência de 20 m, frequência de 1600 Hz, e espaçamento entre as leituras a cada 5 m nos arranjos Dipolo Vertical e Dipolo Horizontal (Figura 5).

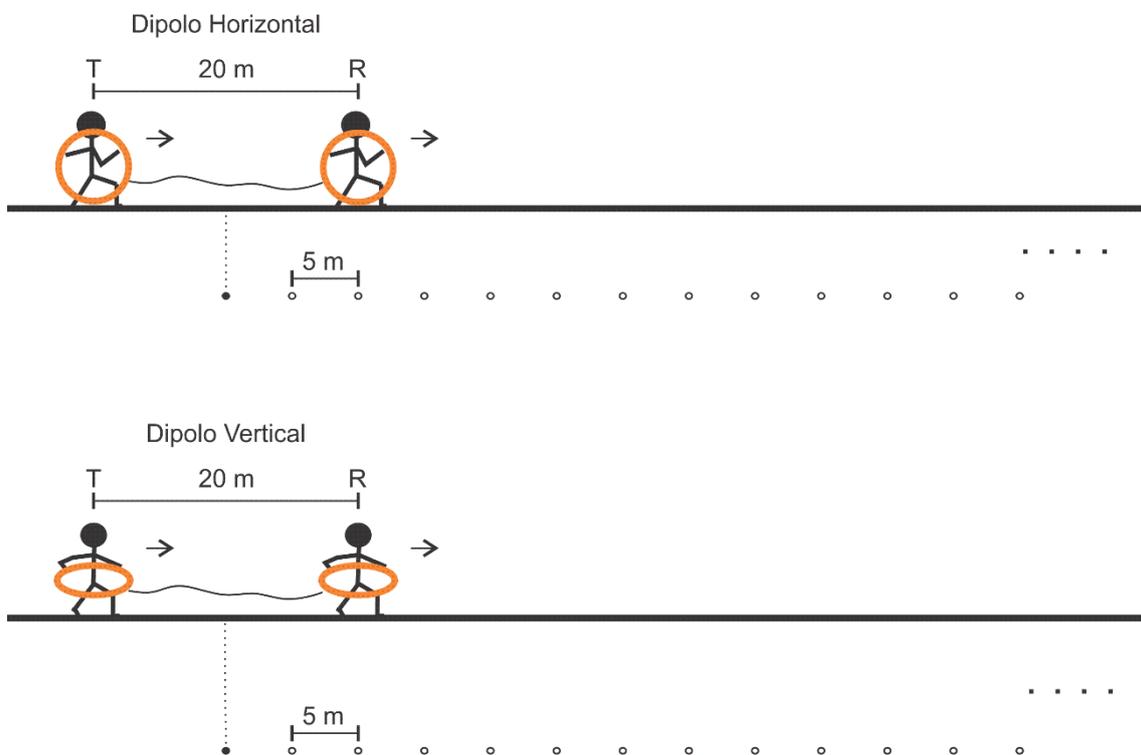


Figura 5 - Técnica de Caminhamento Eletromagnético com cabo de referência de 20 m, frequência de 1600Hz e espaçamento entre as leituras de 5m nos arranjos Dipolo Vertical e Dipolo Horizontal.

Equipamentos Utilizados

O equipamento utilizado foi o condutímetro EM 34-3 modelo XL (fabricado pela Geonics Ltda – Canadá) mostrado na Figura 6.



Figura 6: Condutímetro EM34-3XL usado para realizar leituras diretas da condutividade aparente do subsolo. No lado esquerdo a imagem mostra as bobinas e os cabos. No lado direito as imagens mostram os consoles do Transmissor e do Receptor.

O EM34-3XL possui três cabos de referência com tamanhos diferentes que permitem três espaçamentos diferentes entre as bobinas (d na Equação 4), a saber, 10, 20 e 40 m. A frequência f utilizada em cada espaçamento é fixa: 6400 Hz, 1600 Hz e 400 Hz respectivamente para os espaçamentos de 10 m, 20 m e 40 m. As frequências utilizadas são suficientemente baixas de modo que as correntes de deslocamento que se formam são insignificantes (Wait, 1982).

A profundidade de investigação do EM34-3XL depende da frequência de operação que é controlada no uso de cabos de referência diferentes, depende também da posição do arranjo entre as bobinas e das características do subsolo.

AQUISIÇÃO DOS DADOS

Na região foram realizados 3 CEs, 1 SEV e 1 CEM. Os CEs e CEM foram realizados objetivando identificar estruturas e feições geológicas. As SEVs visavam estimar a espessuras das camadas litológicas e profundidade do topo do embasamento.

O primeiro CE, Linha 1, foi realizado deslocado da posição original devido à dificuldade em acessar o ponto planejado (Figura 7), mas ainda dentro da área que abrange a finalidade do estudo. O CE foi realizado seccionando a mesma drenagem que corta o ponto original e tinha como objetivo estimar a extensão da planície de inundação.



Figura 7 - Linha 1 (vermelho) e planejamento inicial da Linha 1 (amarelo). A e B identificam, respectivamente, início e fim do CE. Ponto A: (X= 49°52'2.31"O; Y= 22° 3'18.96"S), Ponto B: (X= 49°52'1.59"O; Y= 22° 3'29.95"S)

O segundo CE, Linha 2, também foi realizado deslocado do ponto planejado, pois a estrada que dava acesso ao ponto desmoronou, bloqueando o acesso (Figura 8). O CE foi realizado o mais próximo possível do ponto original que tinha como objetivo confirmar a existência de terraço.



Figura 8 - Linha 2 (vermelho) e planejamento inicial da Linha 1 (amarelo). A e B identificam, respectivamente, início e fim do CE. Ponto A: ($X= 50^{\circ} 5'47.12''O$; $Y= 21^{\circ}54'52.68''S$), Ponto B: ($X= 50^{\circ} 5'45.91''O$; $Y= 21^{\circ}54'43.13''S$)

Devido à chuva forte houve necessidade de interrupção na aquisição dos dados do terceiro CE, Linha 3, isto restringiu seu comprimento e afetou a qualidade dos dados (Figura 9). O CE tinha como objetivo mapear a profundidade e extensão do colúvio. A SEV 1 foi realizada sobre a Linha 3.



Figura 9 - Linha 3 (vermelho), planejamento inicial da Linha 1 (amarelo) e SEV 1. A e B identificam, respectivamente, início e fim do CE. Ponto A: (X= 50° 3'6.84"O; Y= 22°16'33.31"S), Ponto B: (X= 50° 3'6.70"O; Y= 22°16'36.54"S)

O CEM, Linha 4, foi realizado visando identificar falha inferida por imagens de satélite (Figura 10).



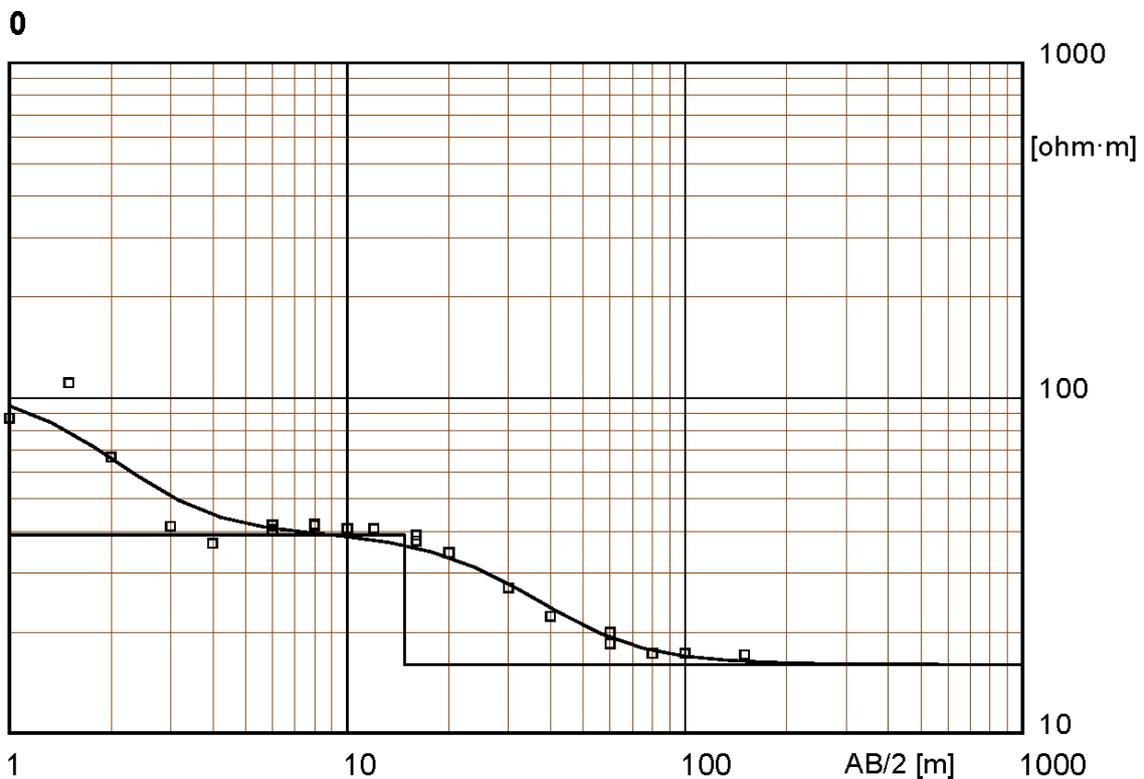
Figura 10 - Linha 4. A e B identificam, respectivamente, início e fim do CEM. Ponto A: (X= 50° 1'36.98"O; Y= 22°18'8.21"S), Ponto B: (X= 50° 1'42.51"O; Y= 22°18'19.57"S)

PROCESSAMENTO DOS DADOS

Sondagem Elétrica Vertical

Para o processamento dos dados da SEV foram utilizados os Softwares Prosys II; versão 03.11.02. desenvolvido por IRIS Instruments e o WinSev; versão 6.3 desenvolvido por W-GeoSoft. O método de inversão utilizado foi automático, realizando mínimas intervenções manuais, apenas quando o ajuste cria modelos muito complexos com várias camadas.

A inversão da SEV 1 (Figura 11) resultou num modelo de 3 camadas geoeletricas.



Location X = 50° 3'7.01"O Y = 22°16'35.03"S Z = 471 Azim = 0

| Model | | | |
|--------------------|------------------|--------------|-----------------|
| Resistivity | Thickness | Depth | Altitude |
| [ohm·m] | [m] | [m] | [m] |
| 109 | .8 | 471 | 471 |
| 39 | 14 | .8 | 470.2 |
| 16 | | 15 | 456 |

Figura 11 - Modelo de camadas Geoeletricas da SEV 1

A tabela de dados da SEV encontra-se no apêndice.

Caminhamento Elétrico

Para o processamento dos dados do CE foram utilizados os Softwares Prosys II; versão 03.11.02. desenvolvido por IRIS Instruments e o Res2dinv; ver. 3.4; 2D Resistivity and IP Inversion. (desenvolvido por Geotomo Software Malaysia). O método de inversão utilizado foi o robusto e foi utilizado o modelo de discretização com refinamento (Modelo com células com metade do espaçamento).

Estudos preliminares foram realizados para verificar qual espaçamento entre os eletrodos se adequaria melhor ao objetivo do levantamento e verificou-se que o espaçamento de 5 m obteve os melhores resultados.

Elevação (m)

LINHA 1

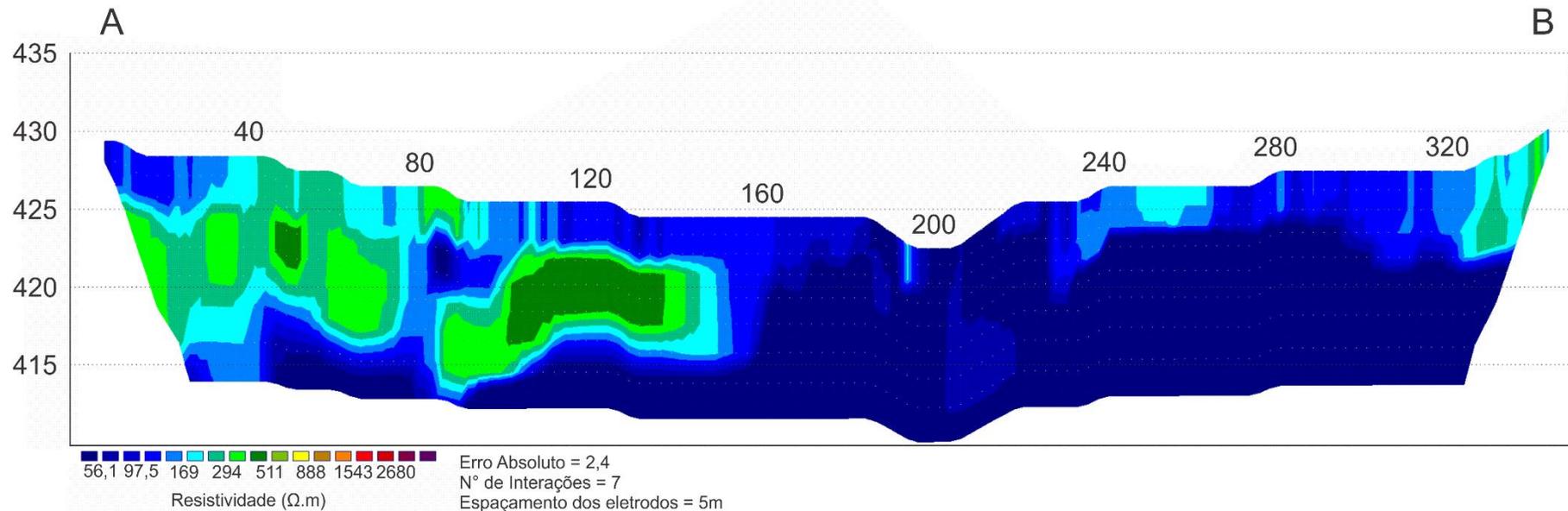


Figura 12 - Seção inversa da Linha 1.

Elevação (m)

LINHA 2

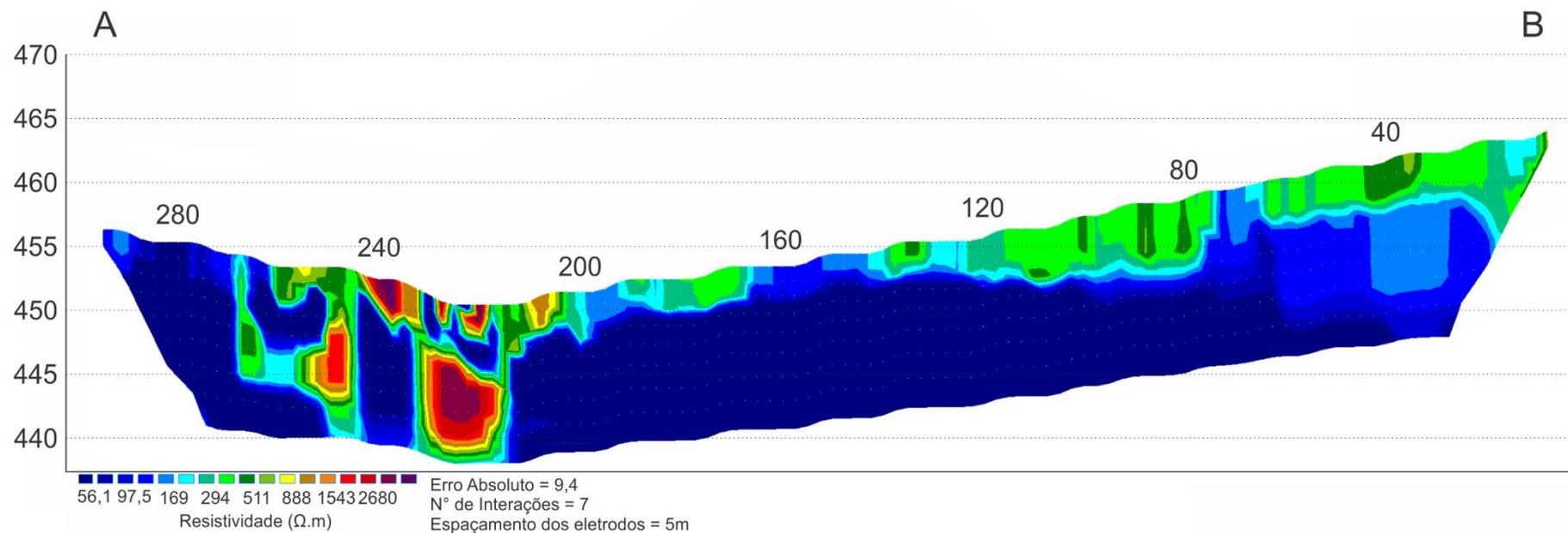


Figura 13 - Seção inversa da Linha 2.

As Pseudo-Seções medida, calculada e Seção Invertida do CE encontra-se no apêndice.

Caminhamento Eletromagnético

As leituras da condutividade aparente que o equipamento fornece não sofreram nenhum processamento e são apresentadas diretamente na **Erro!**
Fonte de referência não encontrada..

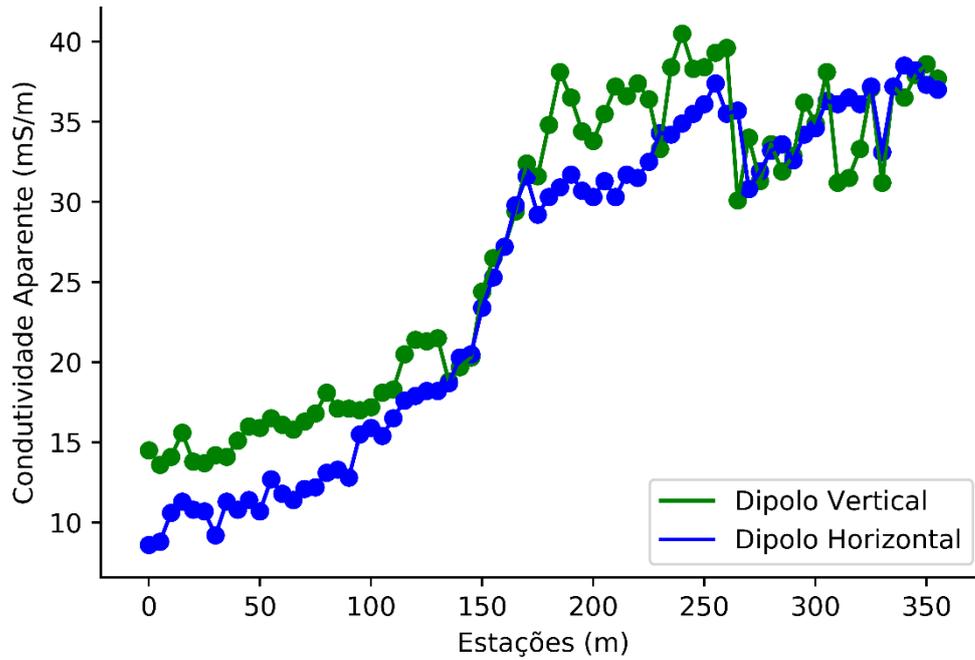


Figura 14 - Valores de Condutividade Aparente medidos nos arranjos Dipolo Vertical e Dipolo Horizontal.

INTERPRETAÇÃO

Sondagem Elétrica Vertical

A SEV 1 apresenta 3 camadas geolétricas que podem ser interpretadas (Telford et al., 1990) conforme Figura 15 abaixo:

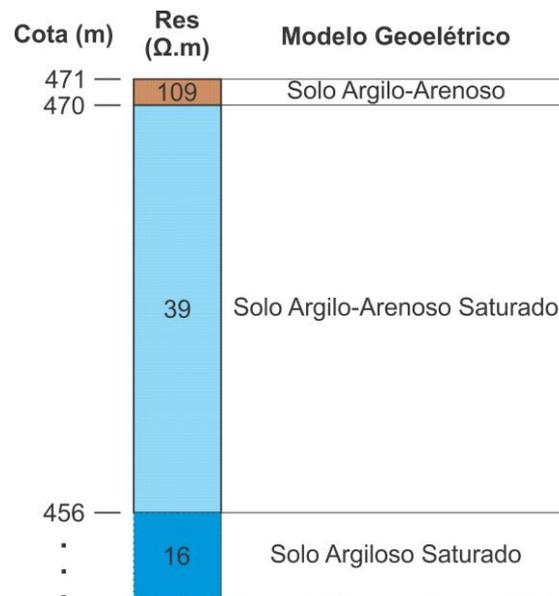


Figura 15 - Interpretação da SEV 1.

Devido à restrição de espaço a abertura máxima realizada entre os eletrodos AB foi de 300 m, isto oferece uma investigação teórica, em profundidade, de 75 m. Esta abertura não foi suficiente para alcançar o cristalino rochoso, limitando a interpretação da SEV a um pacote sedimentar composto por areias e argilas saturadas com, no máximo, 75 m de profundidade (Figura 15).

Caminhamento Elétrico

Os CEs tinham como objetivo identificar as feições e estruturas geológicas na região estudada, particularmente, planícies de inundação, extensão da rampa de colúvio e terraço.

Segundo Ridder (1977), “Normalmente as planícies de inundação são formadas por sedimentos não consolidados ou debilmente consolidados, depositados horizontalmente ou simplesmente estruturados em camadas, pior ou melhor caracterizada. Uma propriedade comum destas camadas é ser pouco espessa em relação à sua extensão horizontal”.

O CE 1 apresenta solo predominantemente saturado formado possivelmente por materiais argilosos e arenosos, cortando a drenagem na posição de 200 m. A faixa de aproximadamente 4 m de espessura às margens da drenagem, situada entre os pontos 95 e 325 do CE foi interpretada como sedimentos da planície de inundação (Figura 16).

O termo rampa de colúvio foi sugerido por Bigarella e Mousinho (1965) para expressar topografia suavemente inclinada (*glacis*) em direção ao fundo dos vales. Essa morfologia seria mantida por colúvios e resultaria de sucessivas fases de remobilização de materiais nas encostas e acumulação em seu sopé, por vezes recobrimo terraços aluviais e reentrâncias (*hollows*) ou depressões de relevo em anfiteatro (IBGE, 2009).

O CE 2 exibe camada superficial de solo, entre as posições 0 e 210 m, com espessura variando de aproximadamente 2 a 6 m que pode ser interpretada como a rampa de colúvio. Na região do vale, dentro da drenagem, o perfil apresenta altos valores de resistividades que podem estar associados com materiais consolidados acumulados naquele ponto. Entre os pontos 240 e 300 a rampa de colúvio não pôde ser detectada pois a região apresenta acúmulo de material orgânico e saturado visto durante levantamento (Figura 17).

O CE 3 não apresentou bons resultados, devido à chuva, e seus dados foram descartados.

Elevação (m)

LINHA 1

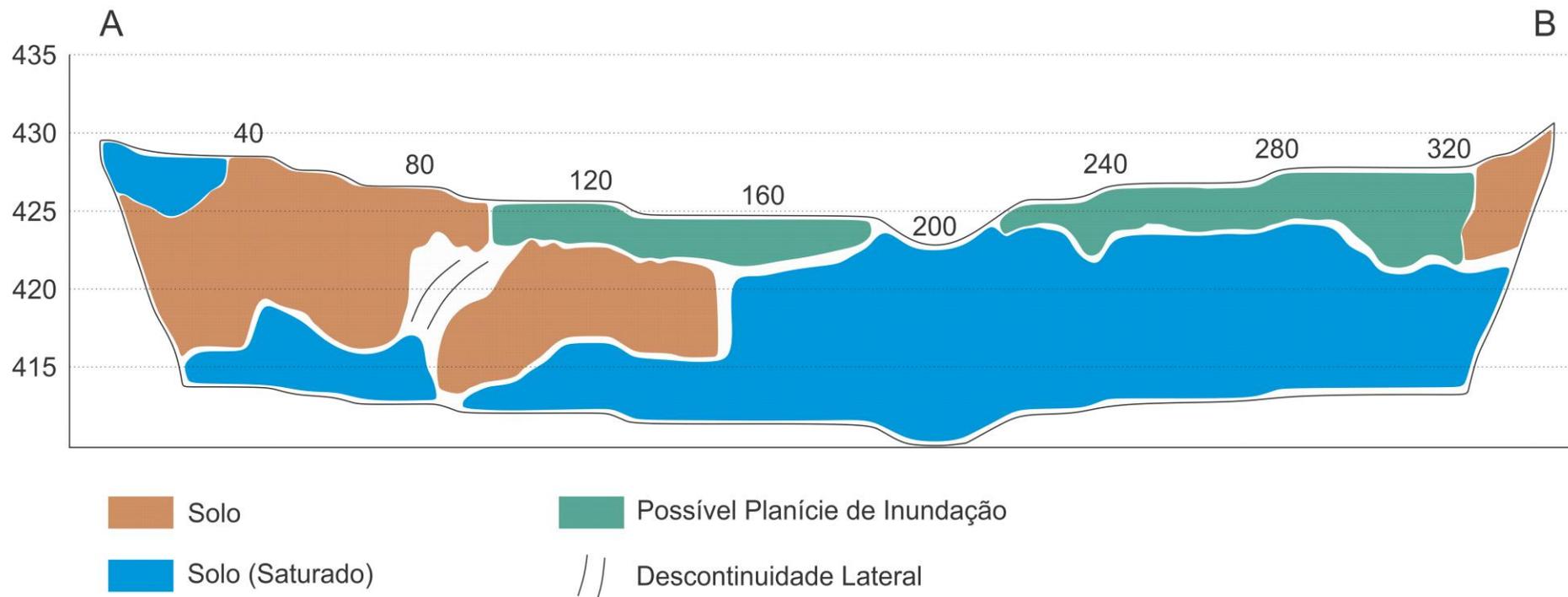
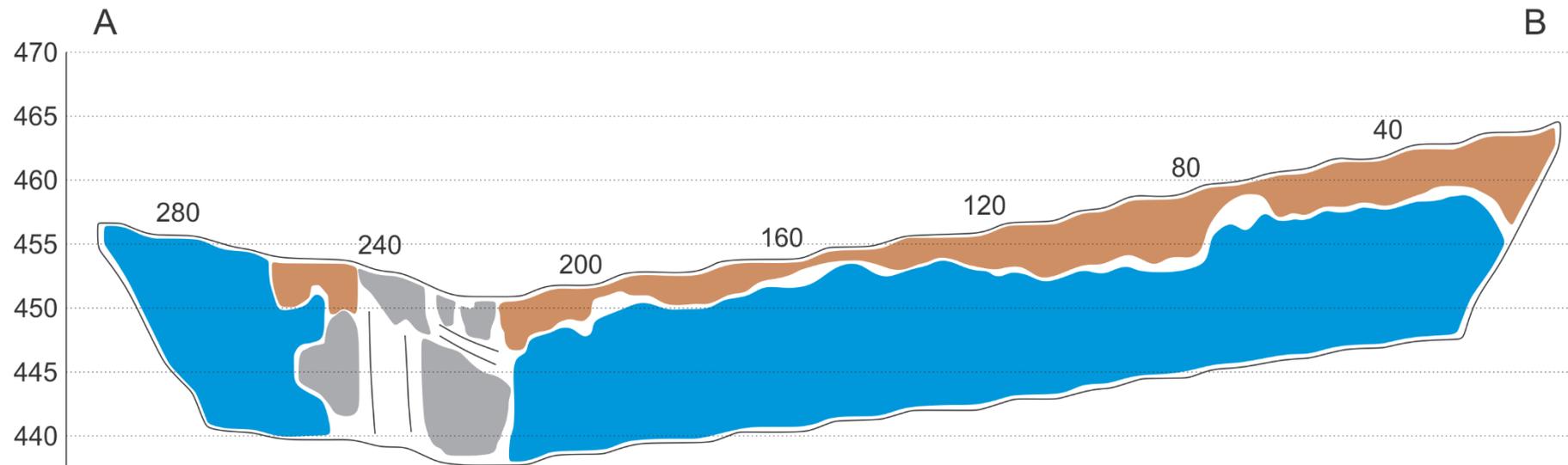


Figura 16 - Linha 1 interpretada

Elevação (m)

LINHA 2



 Solo

 Material Consolidado

 Solo (Saturado)

 Descontinuidade Lateral

Figura 17 - Linha 2 interpretada

Caminhamento Eletromagnético

O CEM foi realizado para identificar uma falha que foi inferida por imagens de satélite aproximadamente a 140 m do ponto A (Figura 10).

A curva da **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta dois comportamentos médios distintos que podem estar associados a diferenças no material geológico. O primeiro comportamento são das leituras entre o ponto A e a estação 100 m que oscilam em torno de 15,6 mS/m para o arranjo Dipolo Vertical e 11,7 mS/m para o arranjo Dipolo Horizontal. O segundo comportamento são as leituras entre a estação 170 m e o ponto B que oscilam em torno de 35 mS/m para os dois arranjos.

Entre as estações 100 m e 170 m, a curva apresenta um crescimento para os dois arranjos. Como a falha foi inferida nesse intervalo, é possível que a mesma possa estar associada com essa diferenciação (Figura 18).

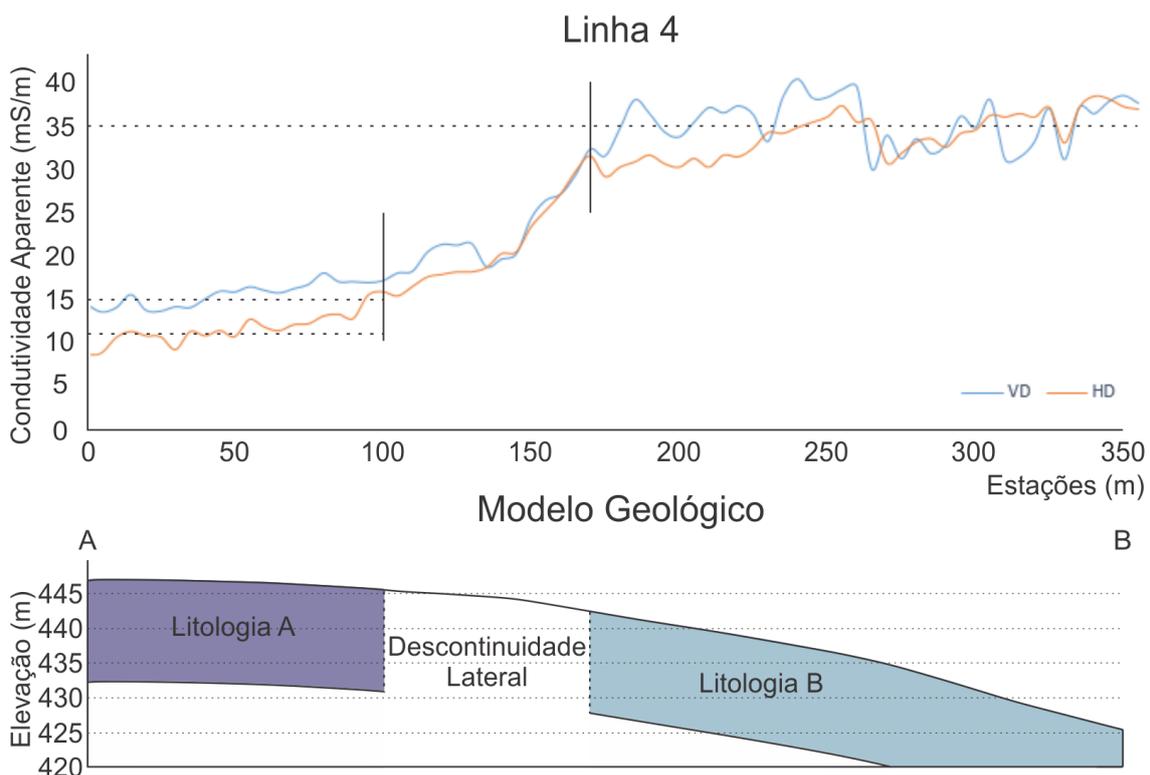


Figura 18 - Linha 4 interpretada.

REFERÊNCIAS

BRAGA, A.C.O., **Geofísica Aplicada: Métodos Geométricos em Hidrogeologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016, 159p.

TELFORD, W.M., GELDART, L.P. & SHERIFF, R.A., **Applied geophysics** 2nd ed. New York: Cambridge University Press, 1990.

McNEILL J. **Electrical Conductivity of Soils and Rocks. Technical Note TN, 5: 21**. 1980. Disponível em: <<http://www.geonics.com>>. Acesso em: 09 Novembro 2018.

WAIT, J. R. **Geo-electromagnetism** New York: Academic Press New York, 1982.

Ridder, N. A. **Hidrogeologia de los Diferentes Tipos de Zonas Llanhas**. In: Ulzurrun, D.D.; Castillo F.E. Principios y Aplicaciones del Drenaje. Wageningen, Holanda. ILRI, 1978. V.1.p.1-33.

Bigarella, J.J.; Mousinho, M.R. **Considerações a respeito dos terraços fluviais, rampas de colúvio e várzeas**. Boletim Paranaense de Geografia, Curitiba, n. 16 e 17, p. 153-198, julho de 1965.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de geomorfologia**, n.5, Série:manuais técnicos de geociências, 2ed., Rio de Janeiro:IBGE, 182p. 2009.

APÊNDICE

Field data and calculated values

| MN/2 [m] | AB/2 [m] | DeltaV [mV] | I [mA] | K [-] | Resistivity [ohm·m] |
|--------------------|--------------------|-----------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|
| .5 | 1 | 150228.6 | 4075 | 2.36 | 87 |
| .5 | 1.5 | 65581.4 | 3719 | 6.28 | 111 |
| .5 | 2 | 26762.8 | 4735 | 11.78 | 66.6 |
| .5 | 3 | 5364.7 | 3558 | 27.49 | 41.4 |
| .5 | 4 | 2954.7 | 3975 | 49.48 | 36.8 |
| .5 | 6 | 1211.4 | 3346 | 112 | 40.5 |
| 1 | 6 | 2510.3 | 3308 | 54.98 | 41.7 |
| .5 | 8 | 630.3 | 3032 | 200 | 41.6 |
| 1 | 8 | 1278.6 | 3012 | 98.96 | 42 |
| 1 | 10 | 886.4 | 3395 | 156 | 40.7 |
| 1 | 12 | 760 | 4203 | 225 | 40.7 |
| 1 | 16 | 346.2 | 3714 | 401 | 37.4 |
| 4 | 16 | 1526.3 | 3685 | 94.25 | 39 |
| 1 | 20 | 154.9 | 2814 | 627 | 34.5 |
| 4 | 20 | 650.6 | 2837 | 151 | 34.6 |
| 4 | 30 | 217.7 | 2787 | 347 | 27.1 |
| 4 | 40 | 108.5 | 3028 | 622 | 22.3 |
| 4 | 60 | 45.6 | 3477 | 1407 | 18.5 |
| 10 | 60 | 127.4 | 3505 | 550 | 20 |
| 4 | 80 | 26 | 3775 | 2507 | 17.3 |
| 10 | 100 | 45.7 | 4111 | 1555 | 17.3 |
| 10 | 150 | 28 | 5758 | 3519 | 17.1 |

Figura 19 - Dados da SEV 1

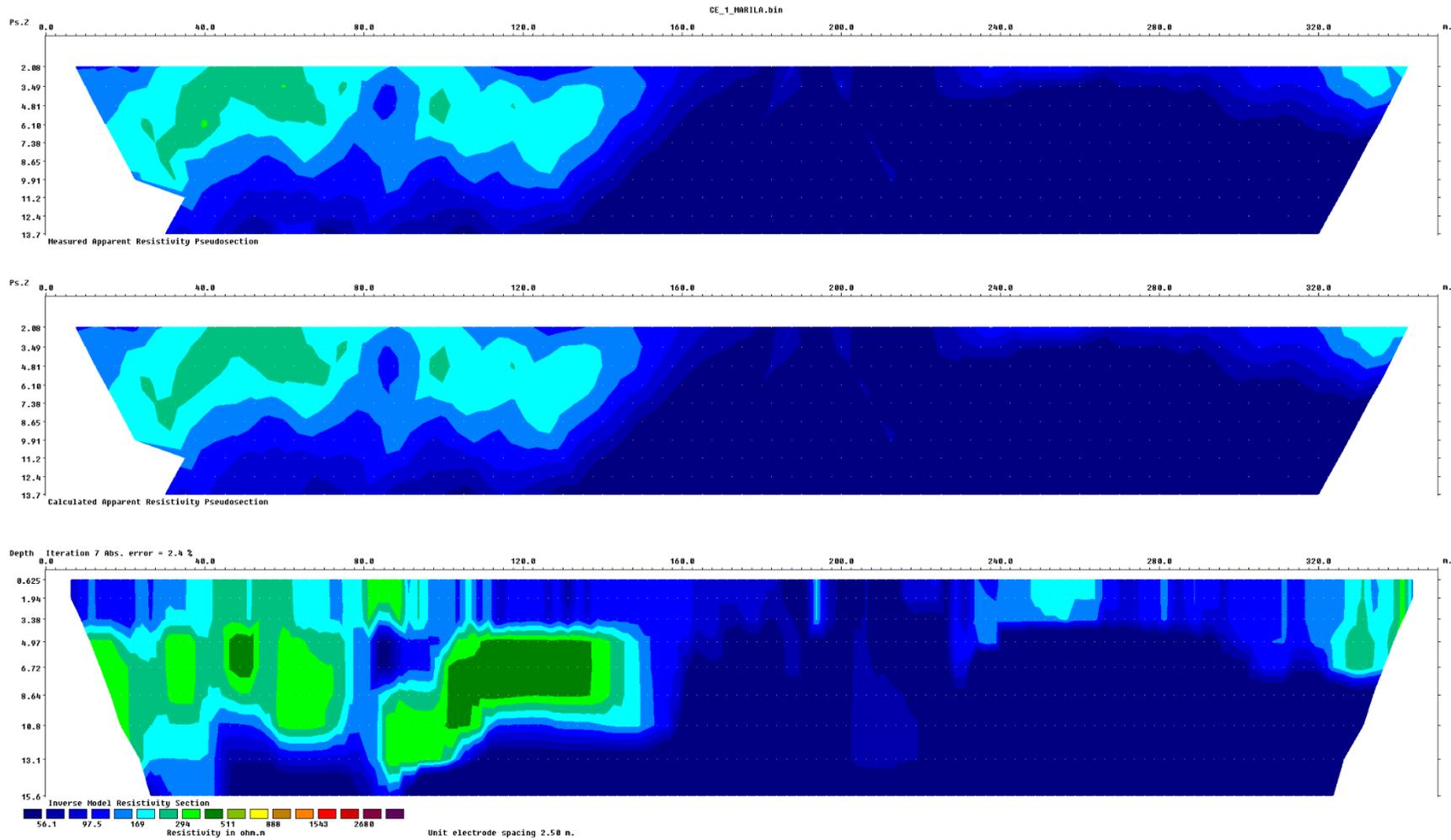


Figura 20 – Pseudo-Seção medida, calculada e Seção Invertida da Linha 1

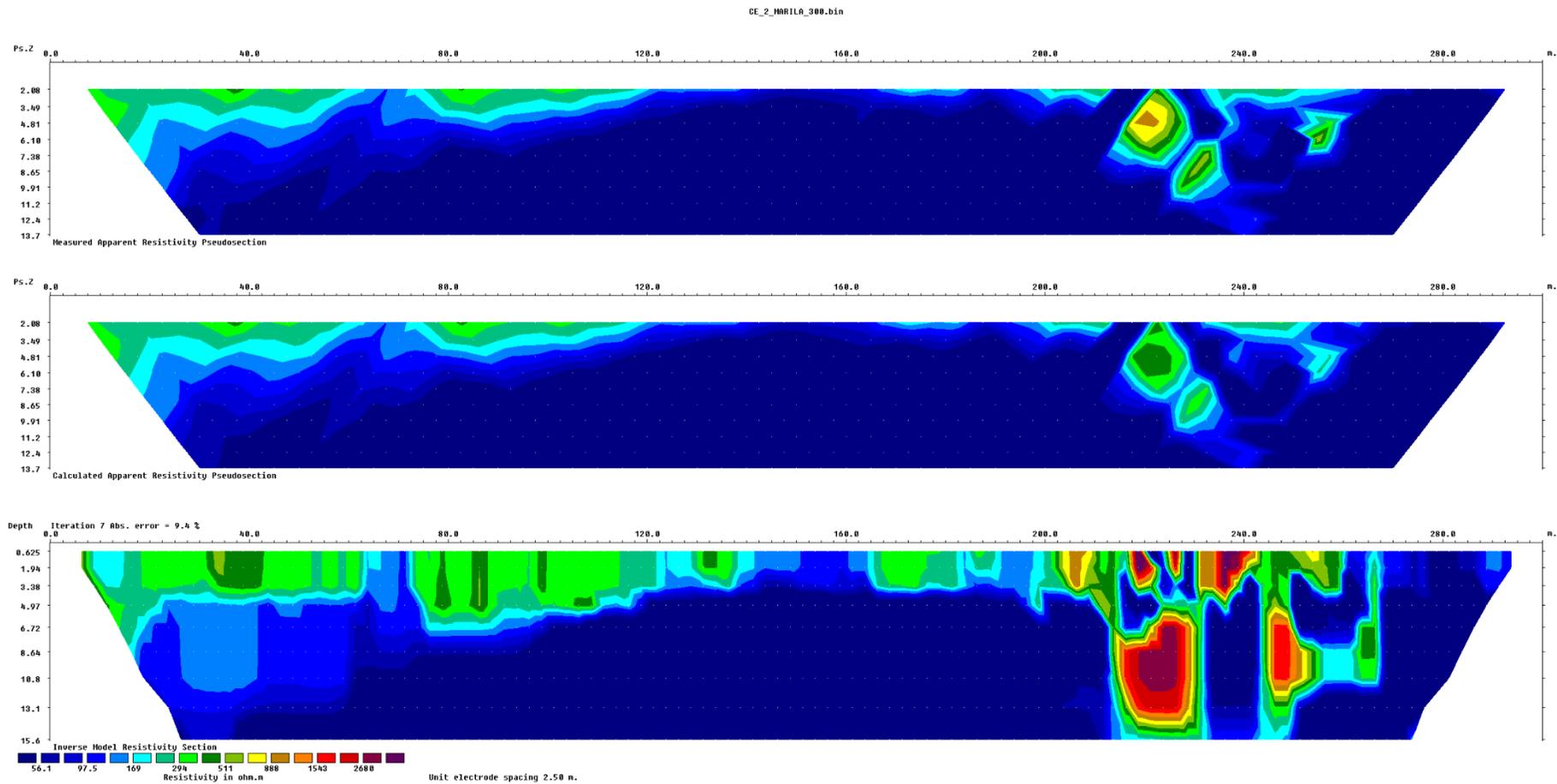


Figura 21 - Pseudo-Seção medida, calculada e Seção Invertida da Linha 2

Tabela 1- Tabela de dados do CEM.

| Estação | VD | HD | | Estação | VD | HD | | Estação | VD | HD | | Estação | VD | HD |
|---------|------|------|--|---------|------|------|--|---------|------|------|--|---------|------|------|
| 0 | 14.5 | 8.6 | | 90 | 17.1 | 12.8 | | 180 | 34.8 | 30.3 | | 270 | 34.0 | 30.8 |
| 5 | 13.6 | 8.8 | | 95 | 17.0 | 15.5 | | 185 | 38.1 | 30.9 | | 275 | 31.3 | 31.9 |
| 10 | 14.1 | 10.6 | | 100 | 17.2 | 15.9 | | 190 | 36.5 | 31.7 | | 280 | 33.6 | 33.2 |
| 15 | 15.6 | 11.3 | | 105 | 18.1 | 15.4 | | 195 | 34.4 | 30.7 | | 285 | 31.9 | 33.6 |
| 20 | 13.8 | 10.8 | | 110 | 18.3 | 16.5 | | 200 | 33.8 | 30.3 | | 290 | 32.9 | 32.6 |
| 25 | 13.7 | 10.7 | | 115 | 20.5 | 17.6 | | 205 | 35.5 | 31.3 | | 295 | 36.2 | 34.2 |
| 30 | 14.2 | 9.2 | | 120 | 21.4 | 17.9 | | 210 | 37.2 | 30.3 | | 300 | 34.9 | 34.6 |
| 35 | 14.1 | 11.3 | | 125 | 21.3 | 18.2 | | 215 | 36.6 | 31.7 | | 305 | 38.1 | 36.3 |
| 40 | 15.1 | 10.8 | | 130 | 21.5 | 18.2 | | 220 | 37.4 | 31.5 | | 310 | 31.2 | 36.1 |
| 45 | 16.0 | 11.4 | | 135 | 18.8 | 18.7 | | 225 | 36.4 | 32.5 | | 315 | 31.5 | 36.5 |
| 50 | 15.9 | 10.7 | | 140 | 19.7 | 20.3 | | 230 | 33.3 | 34.3 | | 320 | 33.3 | 36.1 |
| 55 | 16.5 | 12.7 | | 145 | 20.3 | 20.5 | | 235 | 38.4 | 34.2 | | 325 | 37.1 | 37.2 |
| 60 | 16.1 | 11.8 | | 150 | 24.4 | 23.4 | | 240 | 40.5 | 34.9 | | 330 | 31.2 | 33.1 |
| 65 | 15.8 | 11.4 | | 155 | 26.5 | 25.3 | | 245 | 38.3 | 35.5 | | 335 | 37.2 | 37.2 |
| 70 | 16.3 | 12.1 | | 160 | 27.2 | 27.2 | | 250 | 38.4 | 36.1 | | 340 | 36.5 | 38.5 |
| 75 | 16.8 | 12.2 | | 165 | 29.4 | 29.8 | | 255 | 39.3 | 37.4 | | 345 | 37.9 | 38.2 |
| 80 | 18.1 | 13.1 | | 170 | 32.4 | 31.6 | | 260 | 39.6 | 35.5 | | 350 | 38.6 | 37.3 |
| 85 | 17.1 | 13.3 | | 175 | 31.6 | 29.2 | | 265 | 30.1 | 35.7 | | 355 | 37.7 | 37.0 |