

Ministério de Minas e Energia
CPRM – Serviço Geológico do Brasil

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

GEOFÍSICA

(Itaoca)

Autores: Jairo J. C. Andrade; Sergio R. E. Carvalho; Luiz G. R. Pinto



São Paulo, 30 de Outubro de 2018

Sumário

INTRODUÇÃO	3
MÉTODOS E MATERIAIS	3
Métodos Elétricos	3
Sondagem Elétrica Vertical	4
Caminhamento Elétrico	5
Equipamentos Utilizados	6
AQUISIÇÃO DOS DADOS.....	7
PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	10
Sondagem Elétrica Vertical	10
Caminhamento Elétrico	11
INTERPRETAÇÃO.....	17
Sondagem Elétrica Vertical	17
Caminhamento Elétrico	18
REFERÊNCIAS.....	24
APÊNDICE	25

INTRODUÇÃO

No projeto “Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações” foi realizada campanha de geofísica terrestre, levantamento elétrico, 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 Itaoca entre os dias 24 e 28 de setembro de 2018, com equipe composta por um geofísico e um técnico de geociências.

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 discontinuidades 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 geológico 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).

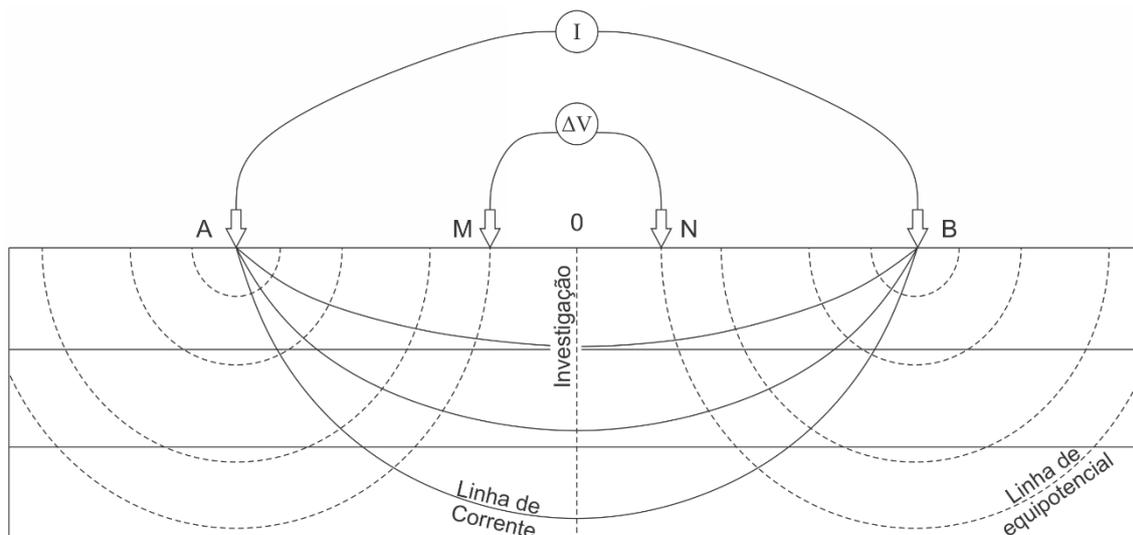


Figura 1 - Técnica da sondagem elétrica vertical (SEV).

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 geoeletrico, 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).

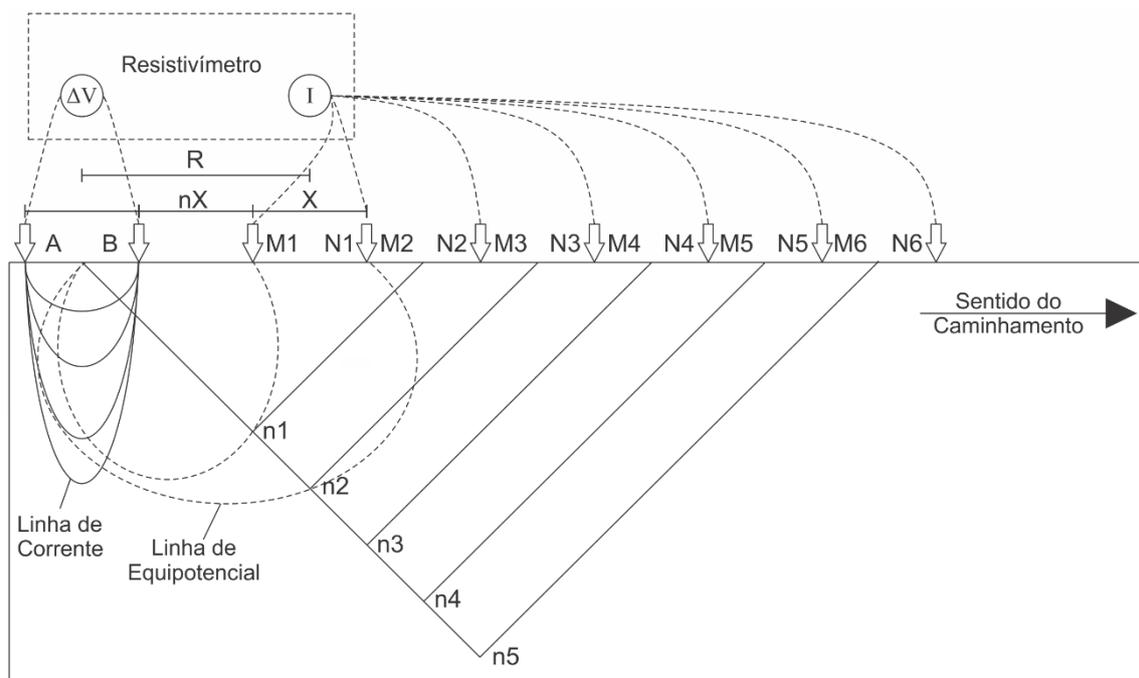


Figura 2 - Esquema do CE, arranjo dipolo-dipolo.

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 100m e dois de 350m. Para o CE estavam disponíveis dois conjuntos de cabos com abertura máxima, entre cada canal, de 5 e 20m 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.

AQUISIÇÃO DOS DADOS

Na região foram realizados 5 CEs e 1 SEV. Os CEs foram realizados objetivando identificar possíveis depósitos rochosos, contatos litológicos e estruturas geológicas. A SEV visava estimar as espessuras das camadas litológicas e profundidade do topo do embasamento.

O primeiro CE, Linha 1, foi realizado com objetivo de identificar variações granulométricas e estruturas geológicas (Figura 4). A SEV 1 foi realizada sobre a Linha 1.

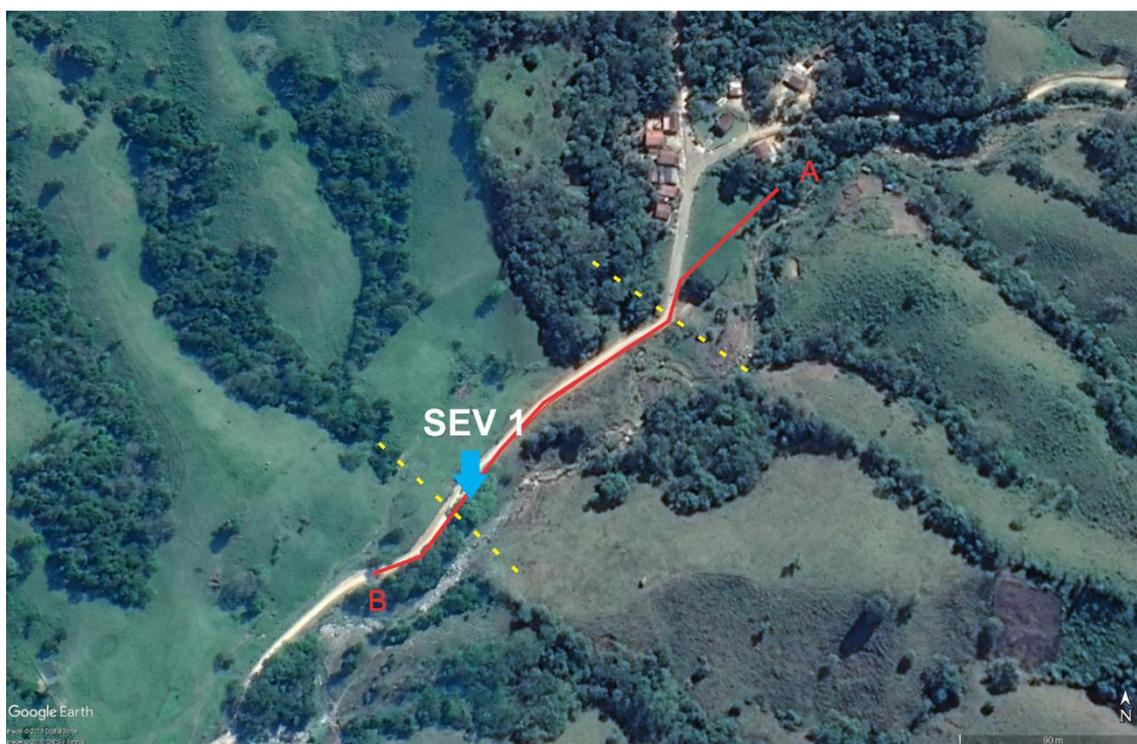


Figura 4 - Linha 1 e SEV 1. A e B identificam, respectivamente, início e fim do CE, linhas amarelas tracejadas indicam estruturas inferidas. Ponto A: ($X= 48^{\circ}51'26.41''O$; $Y= 24^{\circ}36'3.96''S$), Ponto B: ($X= 48^{\circ}51'35.08''O$; $Y= 24^{\circ}36'11.67''S$) e SEV 1: ($X= 48^{\circ}51'33.16''O$; $Y= 24^{\circ}36'10.24''S$).

O segundo CE, Linha 2, foi realizado para verificar se a região alvo é um depósito fluvial (Figura 5).



Figura 5 - Linha 2. A e B identificam, respectivamente, início e fim do CE. A: ($X= 48^{\circ}52'41.31''O$; $Y= 24^{\circ}37'11.79''S$), Ponto B: ($X= 48^{\circ}52'33.91''O$; $Y= 24^{\circ}37'7.29''S$).

O terceiro CE, Linha 3, foi realizado no intuito de identificar os contatos litológicos e descontinuidades estruturais (Figura 6).

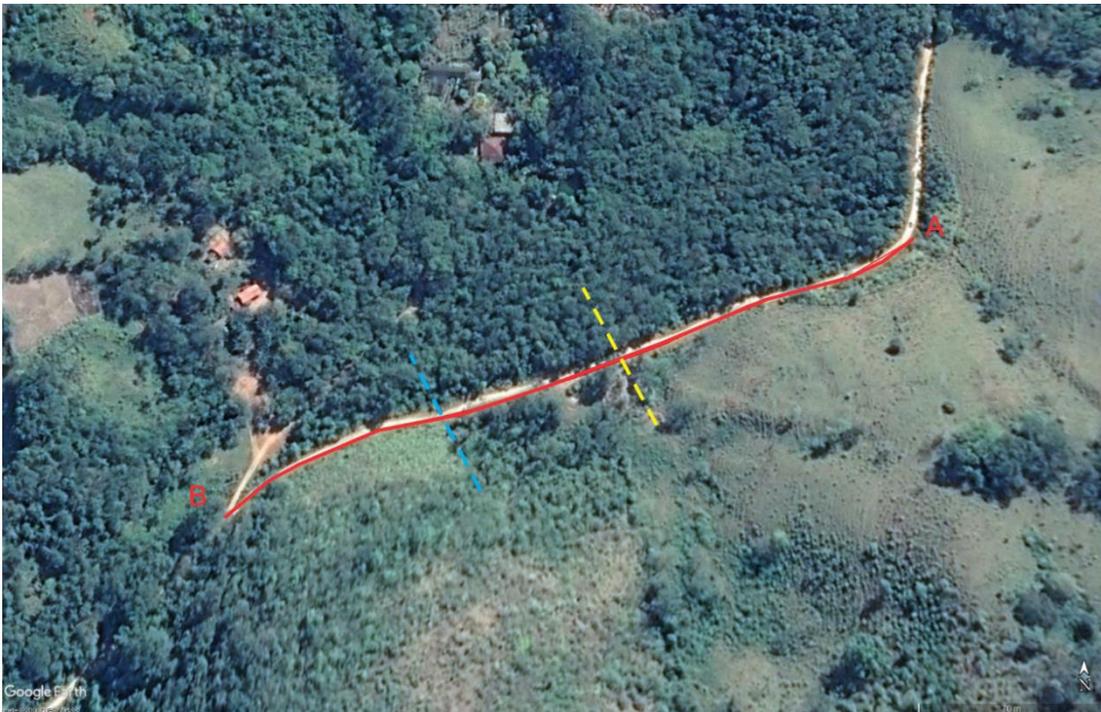


Figura 6 - Linha 3. A e B identificam, respectivamente, início e fim do CE, linha amarela tracejada indica contato geológico inferido, linha azul tracejada indica localização de anomalia. A: ($X= 48^{\circ}45'54.57''O$; $Y= 24^{\circ}37'50.02''S$), Ponto B: ($X= 48^{\circ}46'8.26''O$; $Y= 24^{\circ}37'54.63''S$).

O quarto CE, Linha 4, foi realizado para verificar continuidade lateral e variação granulométrica (Figura 7).



Figura 7 - Linha 4. A e B identificam, respectivamente, início e fim do CE. A: (X= 48°51'8.58"O; Y= 24°37'59.76"S), Ponto B: (X= 48°50'59.97"O; Y= 24°38'3.74"S).

O último CE, Linha 5, foi realizado para estimar o limite do depósito dos blocos rochosos (Figura 8).



Figura 8 - Linha 5. A e B identificam, respectivamente, início e fim do CE. A: (X= 48°54'54.89"O; Y= 24°40'14.10"S), Ponto B: (X= 48°54'39.46"O; Y= 24°40'12.77"S).

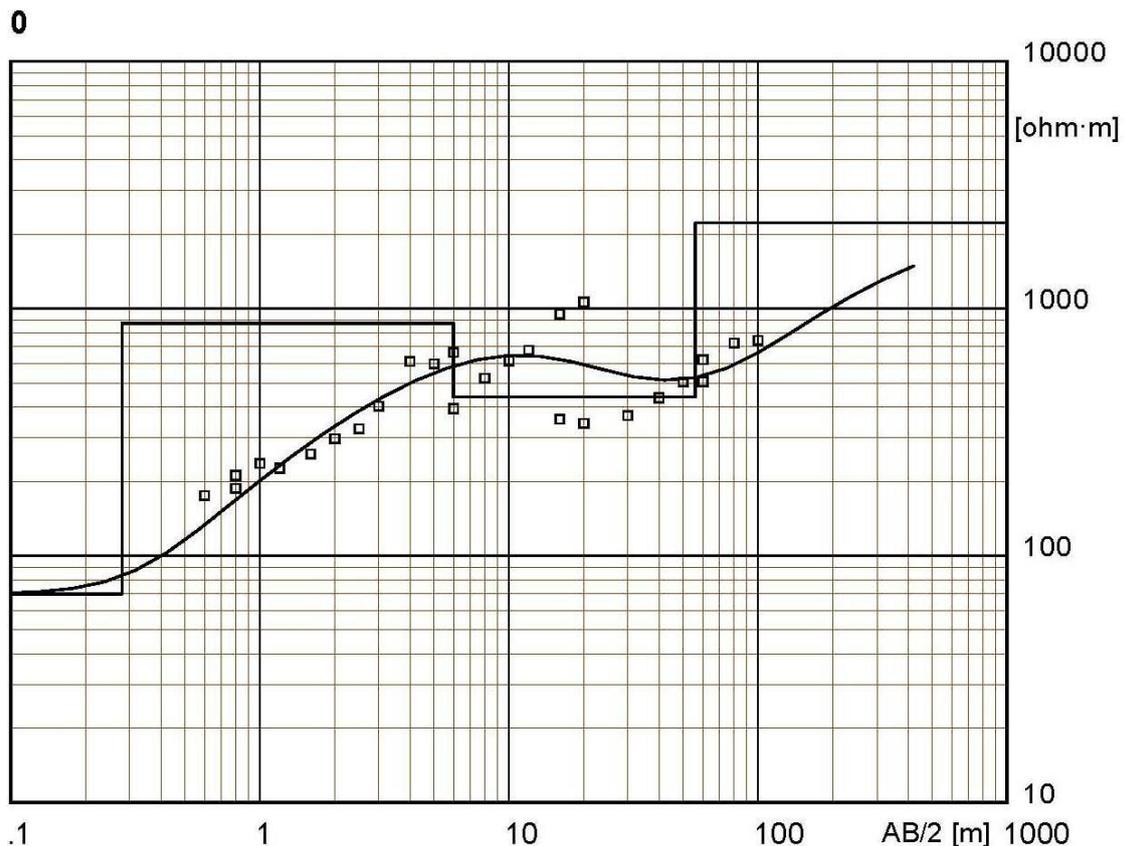
A existência de depósitos rochosos, contatos litológicos e descontinuidades estruturais nessas áreas é inferida através de interpretações preliminares em imagens de satélite e mapas geológicos.

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 9) não apresentou resultado confiável e por este motivo não utilizaremos esta informação.



Location X = 48°51'33.16"O Y = 24°36'10.24"S Z = 220 Azim = 0

Figura 9 – Ajuste dos dados medidos e calculados da SEV 1.

A tabela de dados encontra-se no apêndice.

Caminhamento Elétrico

Para o processamento dos dados dos CEs 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 5m obteve os melhores resultados.

Elevação (m)

LINHA 1

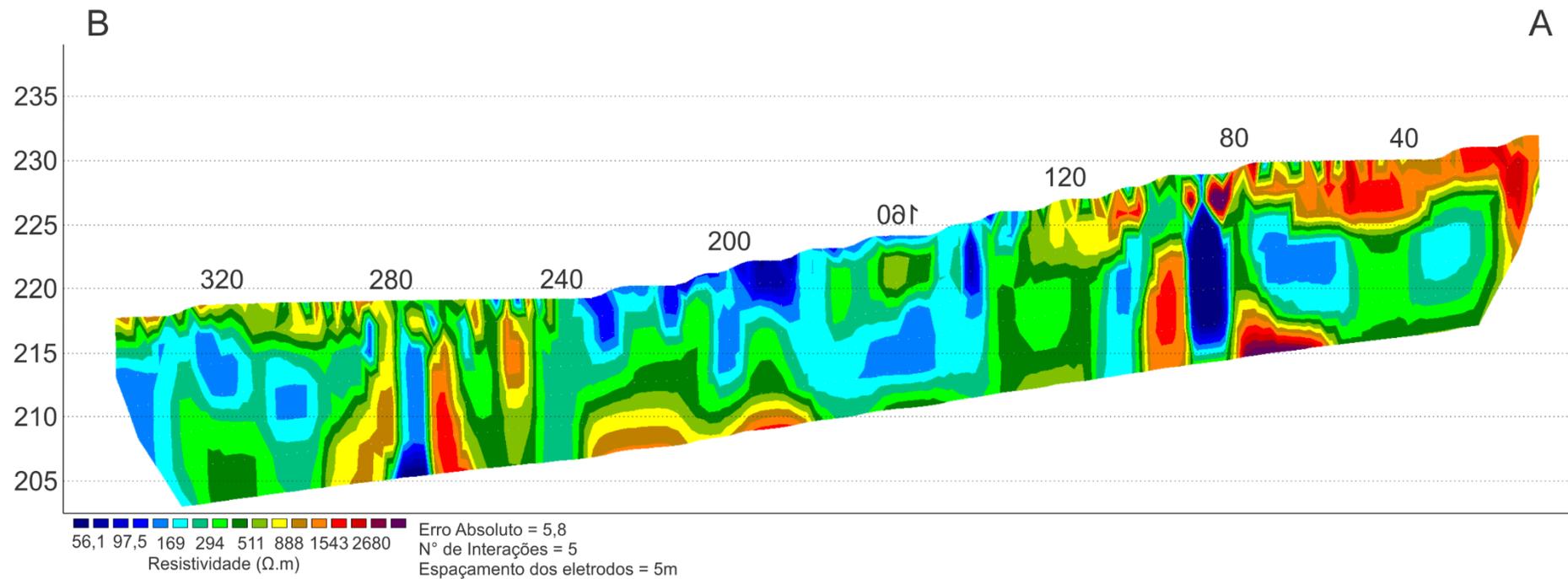


Figura 10 - Seção inversa da Linha 1.

Elevação (m)

LINHA 2

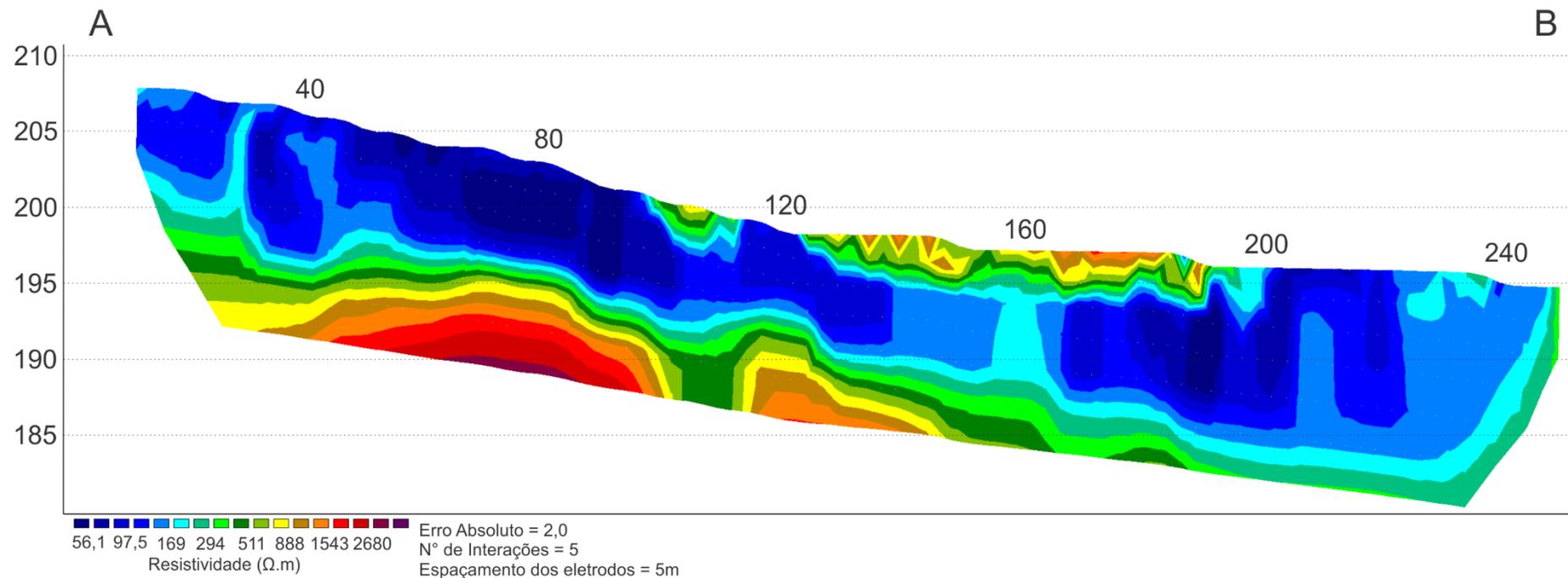


Figura 11 - Seção inversa da Linha 2.

Elevação (m)

LINHA 3

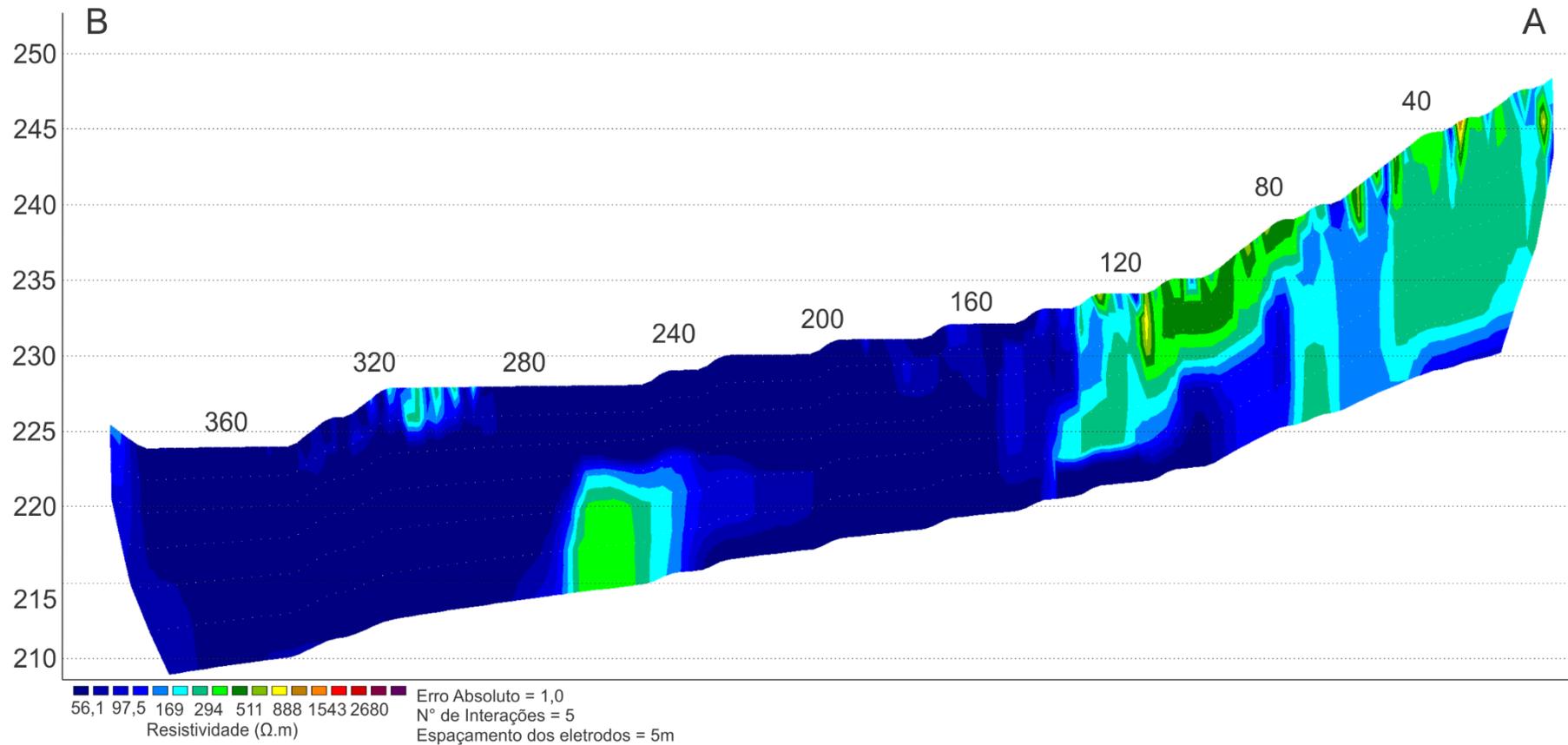


Figura 12 – Seção inversa da Linha 3.

Elevação (m)

LINHA 4

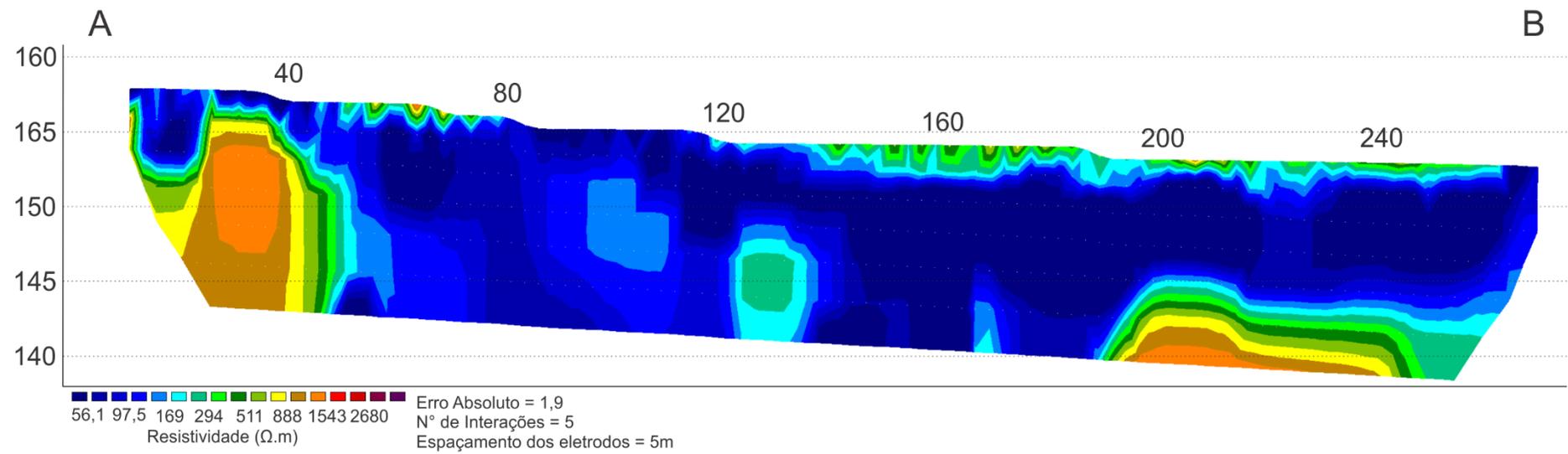


Figura 13 – Seção inversa da Linha 4.

Elevação (m)

LINHA 5

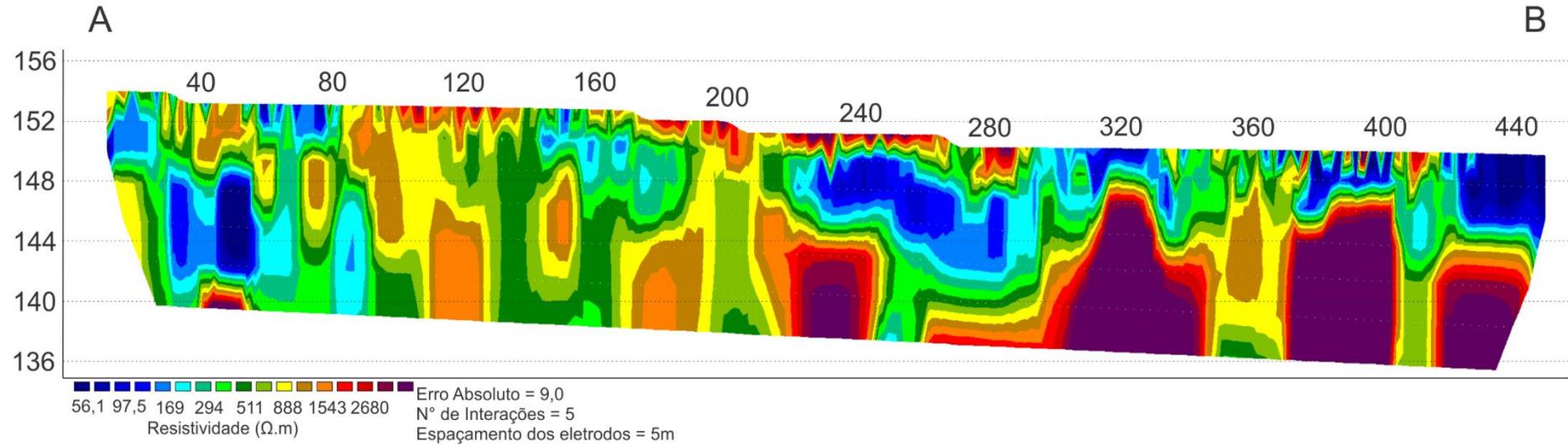


Figura 14 – Seção inversa da Linha 5.

As Pseudo-Seções medida, calculada e Seção Invertida dos CEs encontram-se no apêndice.

INTERPRETAÇÃO

Sondagem Elétrica Vertical

A SEV apresenta descontinuidades abruptas em sua curva de dados (Figura 9) e está localizada sobre região que apresenta descontinuidade lateral no CE da Linha 1 (Figura 15). Estas descontinuidades podem estar associadas a possíveis estruturas geológicas, como fraturas e falhas.

Os ajustes das curvas, calculada e medida, não apresentam boa correlação apresentando baixa confiabilidade, por tanto o modelo geoeletrico de camadas não será utilizado neste trabalho.

Caminhamento Elétrico

A Linha 1 (Figura 15) apresenta faixa de alta resistividade de até 6m de profundidade entre as posições 0 e 90m que pode estar associados a blocos rochosos concentrados na curva da drenagem. Entre as posições 90 e 100m e 270 e 290m (linhas amarelas tracejadas da Figura 4) o CE apresenta descontinuidades que podem estar associadas a estruturas geológicas. A faixa de resistividade indica que a litologia é predominantemente arenosa e está saturada (Braga, 2016).

A Linha 2 (Figura 16) apresenta modelo plano paralelo com sedimentos predominantemente argiloso e saturado. Esta condição pode estar associada a sedimentos fluviais depositados em ambiente com pouca energia, baixa velocidade das águas do rio.

A Linha 3 (Figura 17Figura 18) evidencia que o contato litológico ocorre entre as posições de 140 e 150m no perfil. Entre as posições 250 e 280m, verifica-se uma região que possui resistividade anômala. A porção de 0 a 140m apresenta resistividade correlacionável com material predominantemente arenoso e de 150 a 400m predominantemente argiloso, ambos saturados. As linhas tracejadas amarela e azul identificam, respectivamente, as posições do contato litológico e da região com resistividade anômala (Figura 6).

A Linha 4 (Figura 18) apresenta modelo que pode estar associado a depósito fluvial com sedimentos predominantemente argiloso. Os blocos rochosos visto na interpretação, podem ser correlacionados com o cristalino rochoso.

A Linha 5 (Figura 19Figura 18) foi realizada sob leve garoa, o que pode ter afetado a qualidade do dado que apresenta erro absoluto alto (Figura 14). A interpretação do perfil indica concentração de blocos rochosos ocorre entre as posições de 200 a 450m.

Elevação (m)

LINHA 1

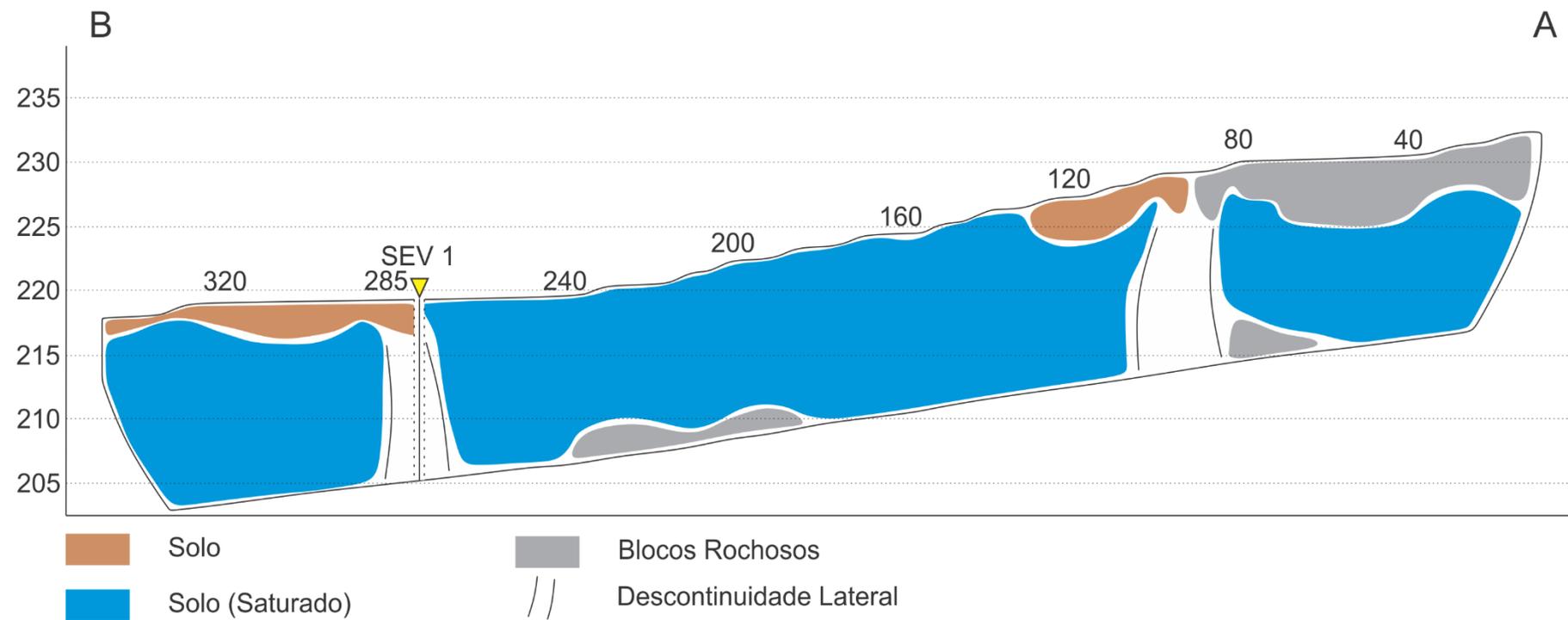


Figura 15 - Linha 1 e SEV 1 interpretadas.

Elevação (m)

LINHA 2

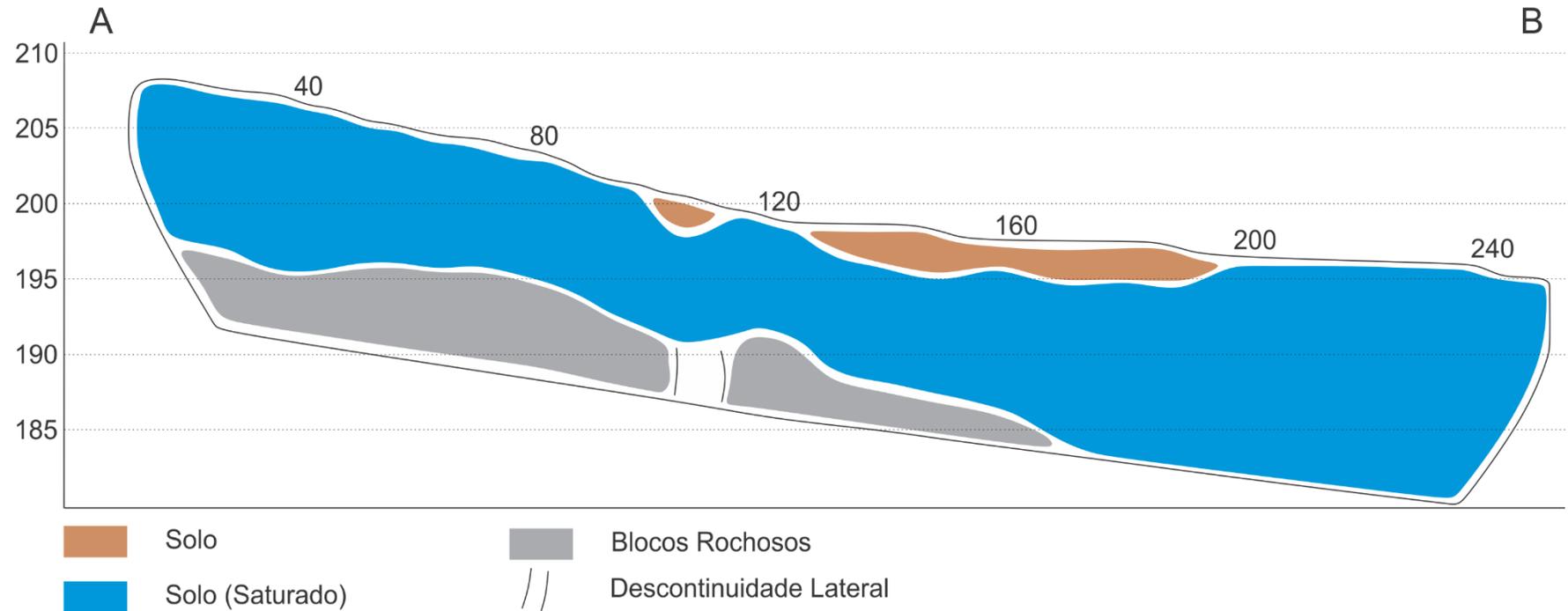


Figura 16 - Linha 2 interpretada.

Elevação (m)

LINHA 3

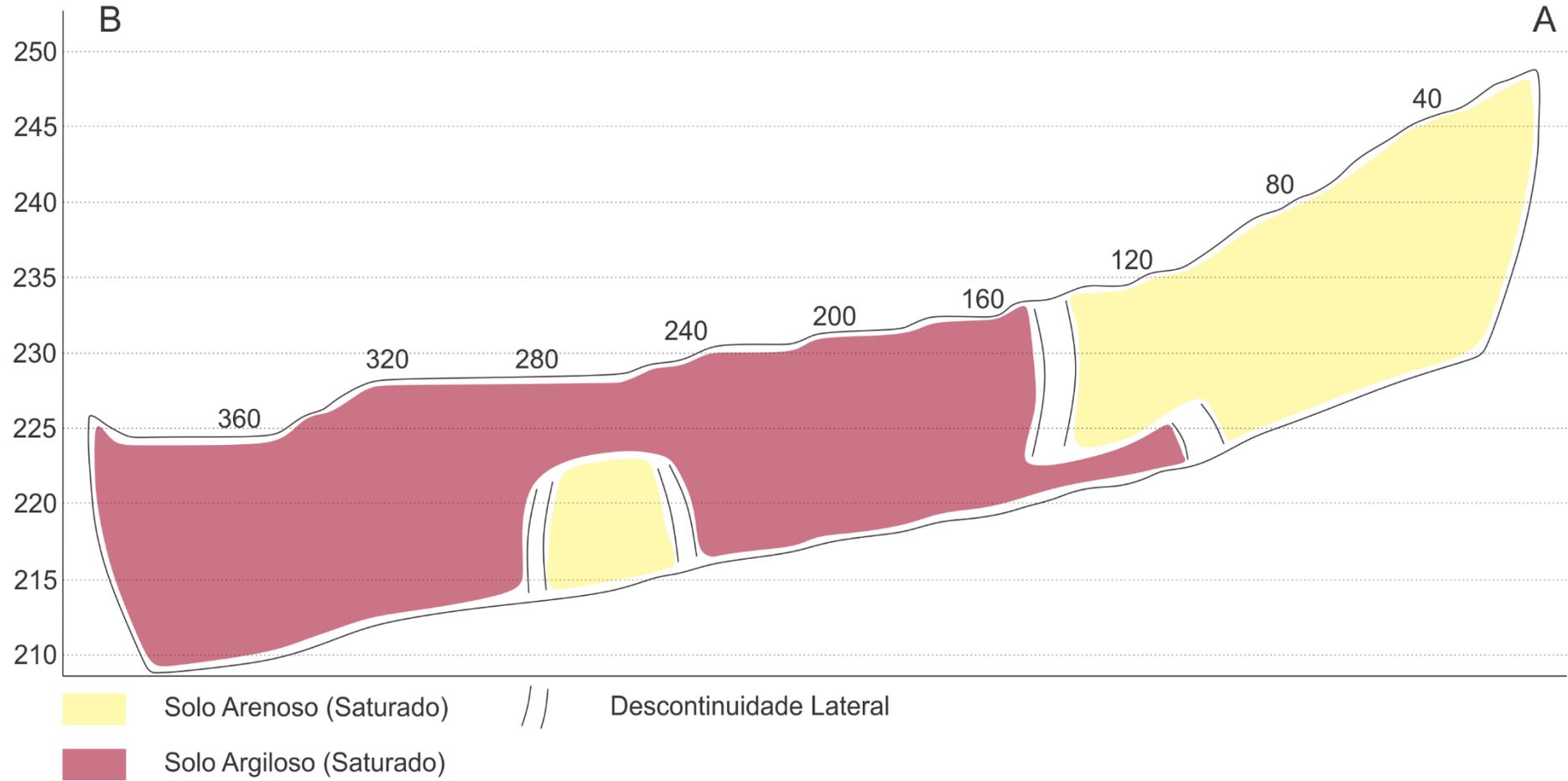
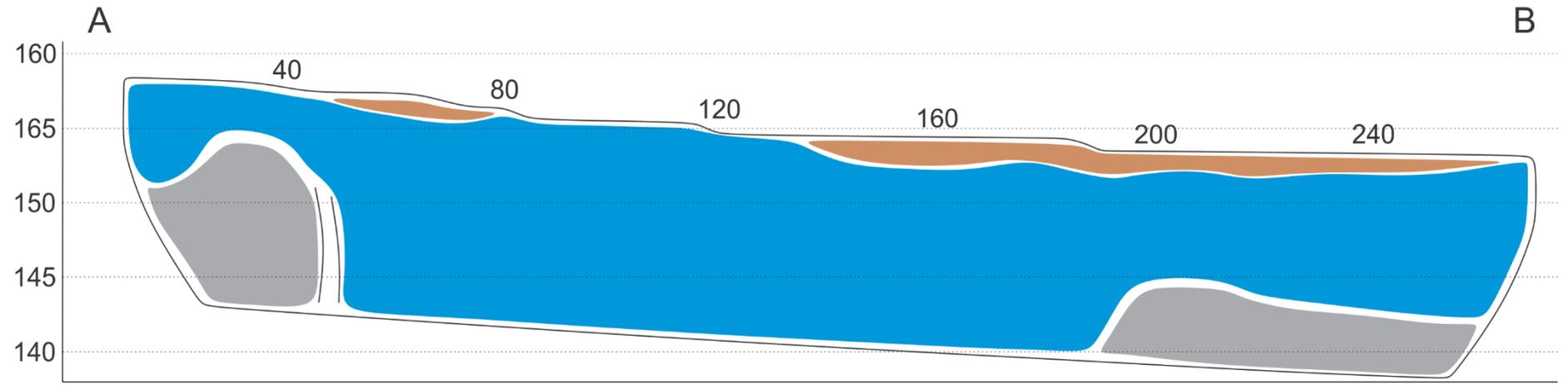


Figura 17 - Linha 3 interpretada.

Elevação (m)

LINHA 4



-  Solo
-  Solo (Saturado)
-  Blocos Rochosos
-  Descontinuidade Lateral

Figura 18 – Linha 4 interpretada.

Elevação (m)

LINHA 5

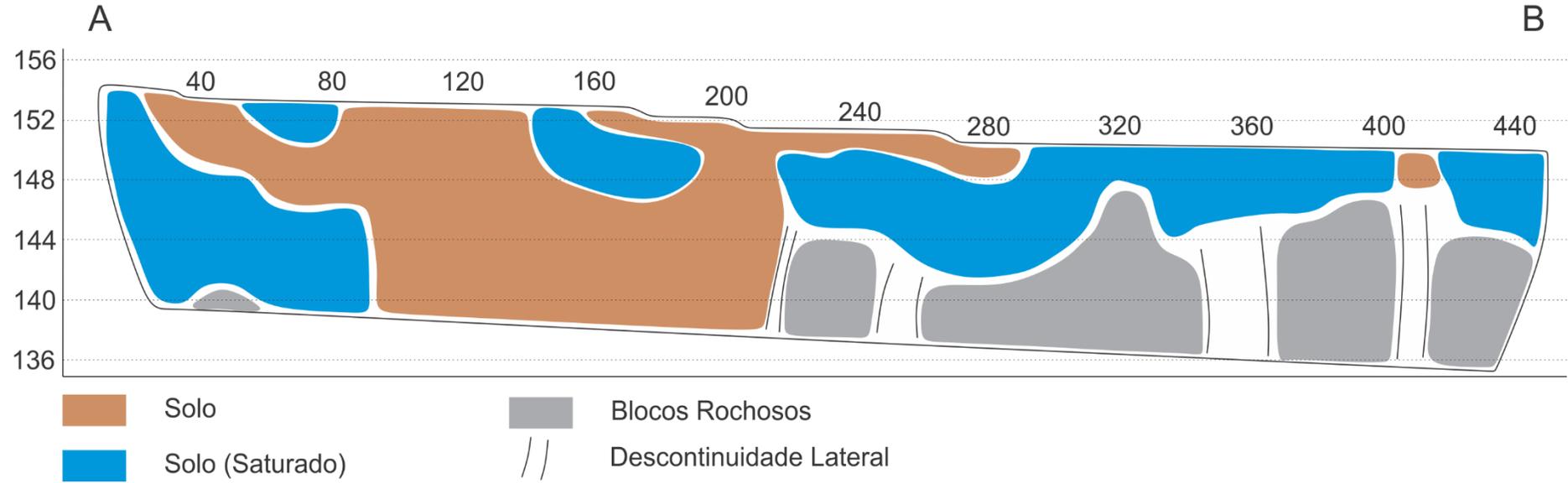


Figura 19 – Linha 5 interpretada.

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.

APÊNDICE

Field data and calculated values

MN/2 [m]	AB/2 [m]	DeltaV [mV]	I [mA]	K [-]	Resistivity [ohm·m]
.1	.6	117320.2	3681	5.5	175
.1	.8	80189.5	3765	9.9	211
.2	.8	150228.6	3784	4.71	187
.2	1	120754.6	3851	7.54	236
.2	1.2	84923.3	4139	11	226
.2	1.6	44142.6	3385	19.79	258
.2	2	33193.8	3477	31.1	297
.2	2.5	25545.7	3825	48.77	326
.2	3	22155.3	3874	70.37	402
.2	4	17500.1	3586	125	610
.2	5	10924	3581	196	598
.2	6	7901.3	3358	282	664
1	6	24086.1	3373	54.98	393
1	8	24276.9	4600	98.96	522
1	10	13431.5	3414	156	614
1	12	6121.6	2036	225	677
1	16	5271.1	2227	401	949
4	16	8450.3	2239	94.25	356
1	20	2514.7	1483	627	1063
4	20	3418.6	1506	151	343
4	30	2873.8	2700	347	369
4	40	2116.5	3028	622	435
4	50	1662.3	3215	975	504
4	60	1223.2	3401	1407	506
10	60	3855.2	3413	550	621
10	80	2649.1	3619	990	725
10	100	1679.9	3516	1555	743

Figura 20 - Dados da SEV 1.

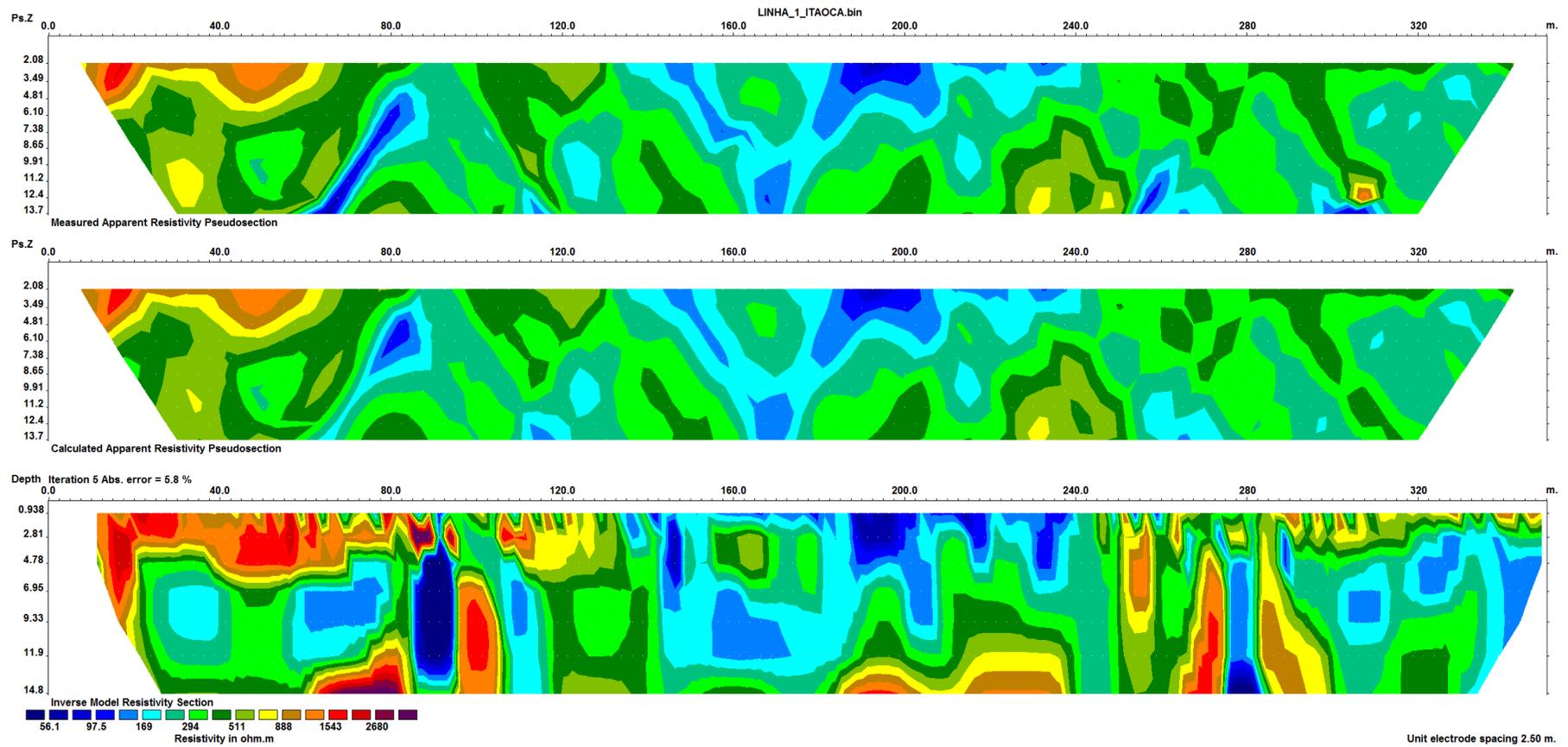


Figura 21 – Pseudo-Seção medida, calculada e Seção Invertida da Linha 1.

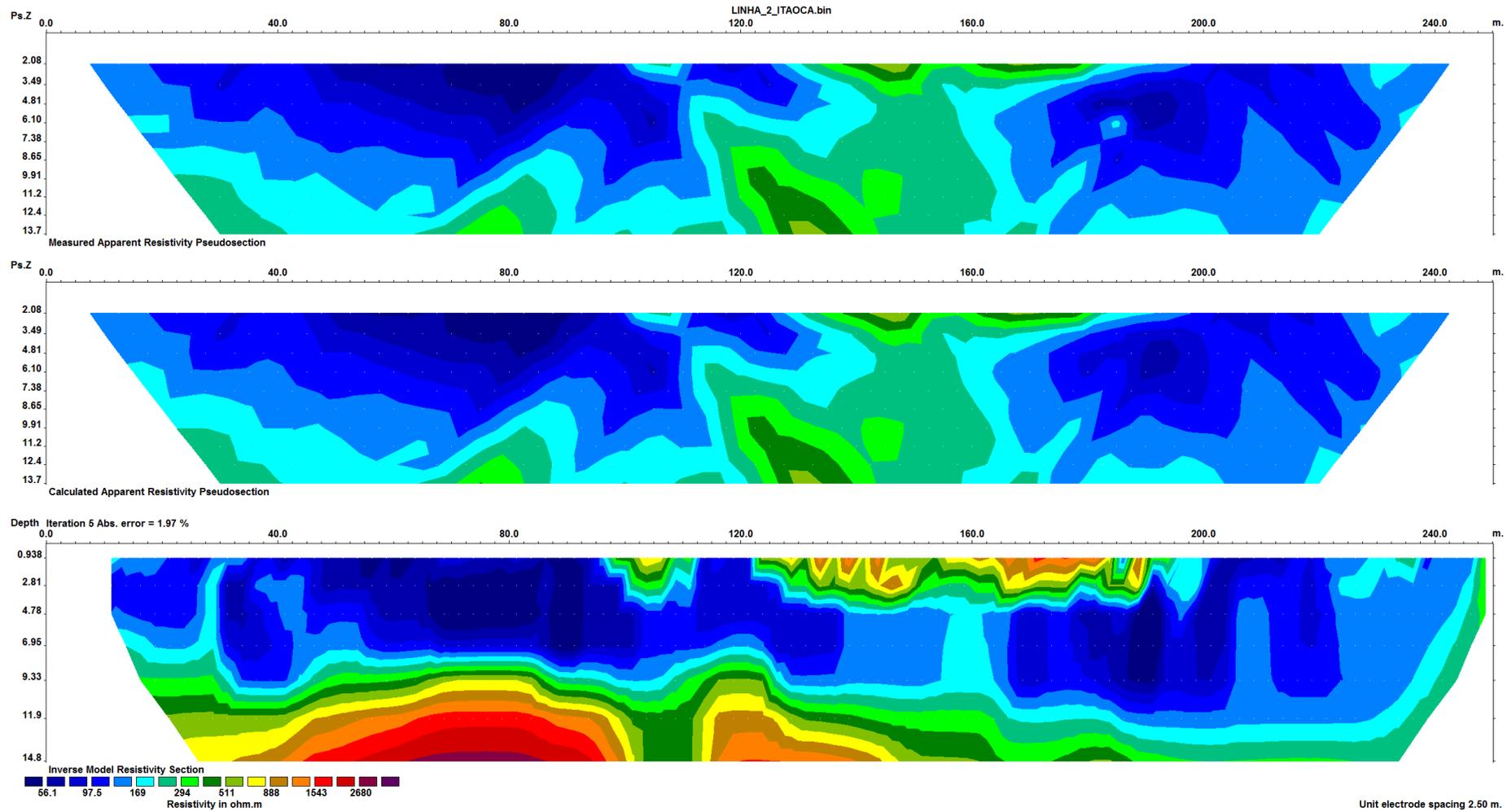


Figura 22 – Pseudo-Seção medida, calculada e Seção Invertida da Linha 2_P1.

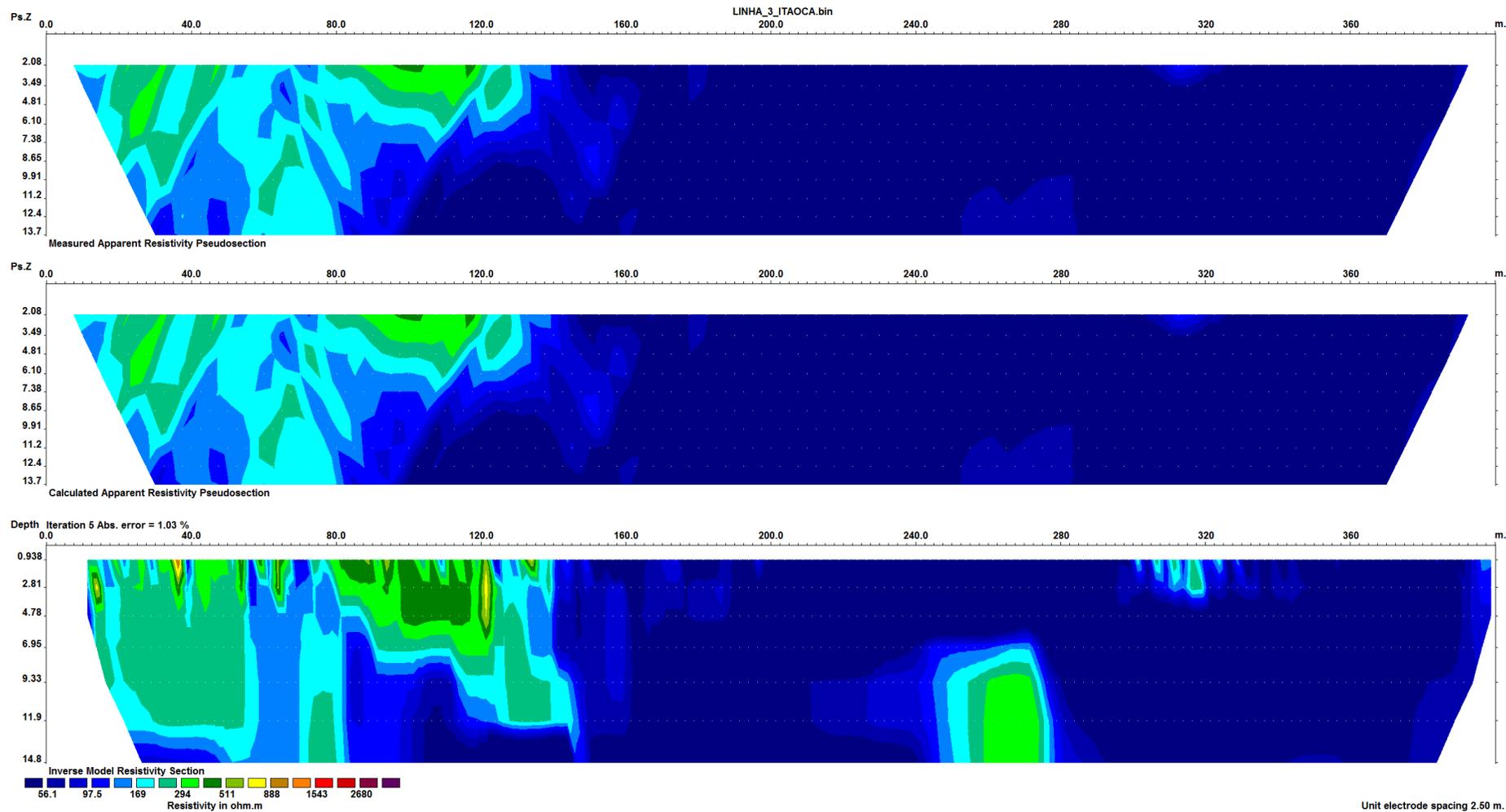


Figura 23 – Pseudo-Seção medida, calculada e Seção Invertida da Linha 2_P2.

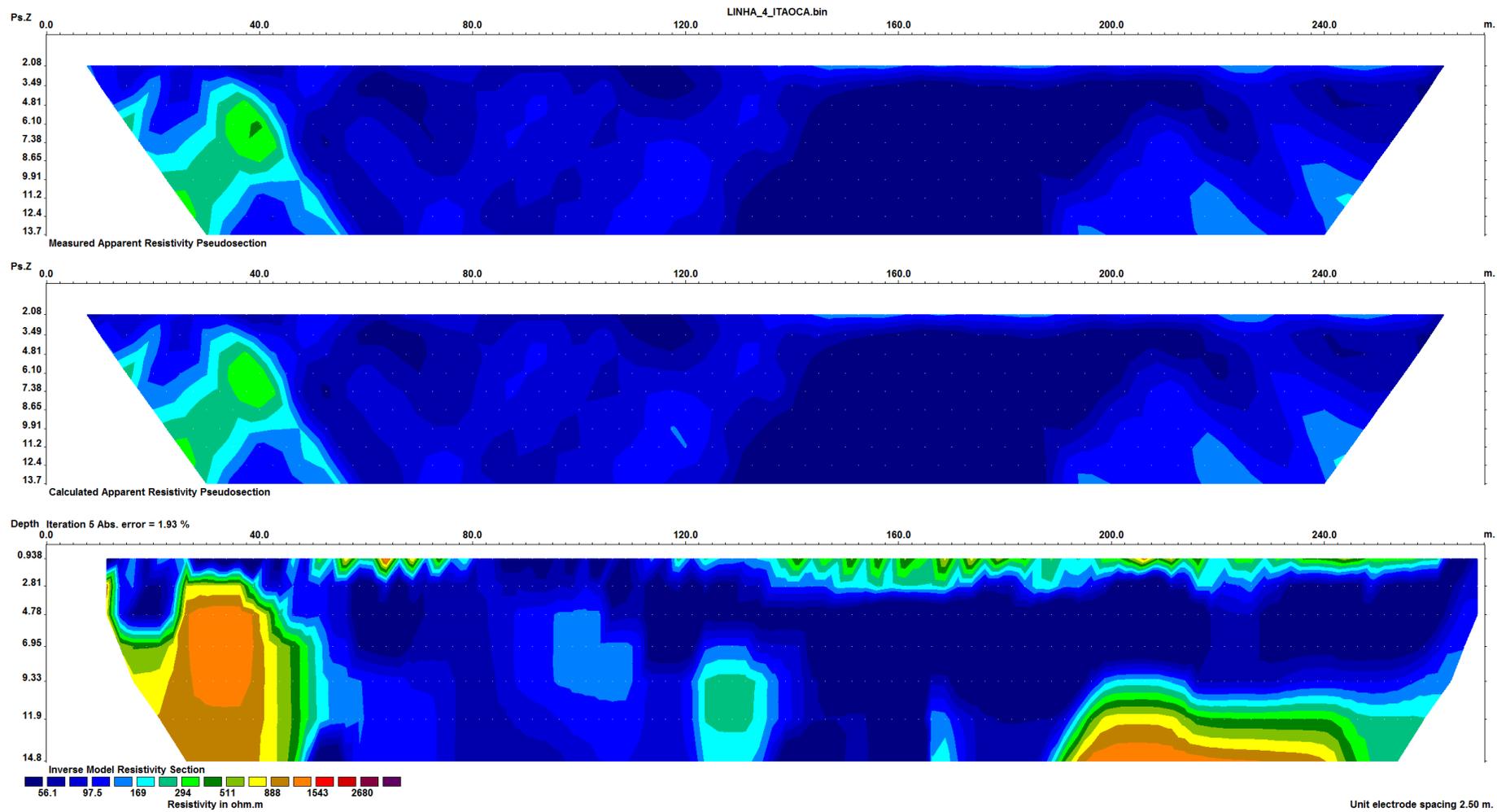


Figura 24 – Pseudo-Seção medida, calculada e Seção Invertida da Linha 2_P2.

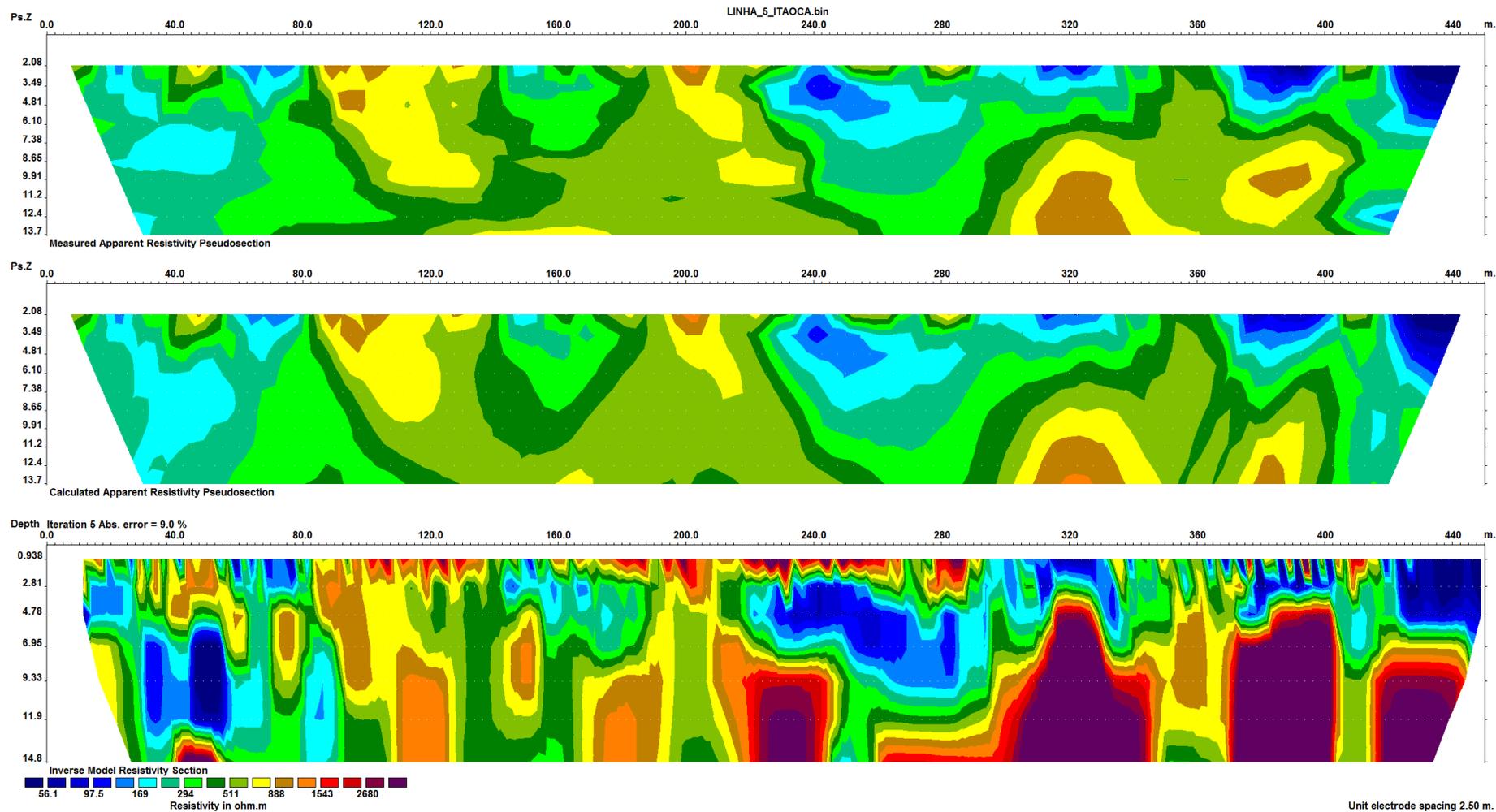


Figura 25 – Pseudo-Seção medida, calculada e Seção Invertida da Linha 2_P2.