



## Determinação da estrutura vertical de latossolos usando sondagens elétricas verticais

Carlos Tadeu Carvalho do Nascimento (\*), Universidade de Brasília, Brazil.

Augusto Cesar Bittencourt Pires, Universidade de Brasília, Brazil.

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

The purpose of this work is to present a procedure for survey of soils, based on DC electrical resistivity. The study area has 5 km<sup>2</sup> and is located at Distrito Federal, in the central region of Brazil. Results showed that clay rich soils are less resistive than sandy soils, and vertical electrical soundings (VES) permitted to identify the underground variation of resistivity. The sandy soils have 22200 Ohm.m, and a conductive-resistive-conductive structure, where the upper layer has 1.3 meters of thickness. The clay rich soils have 6200 Ohm.m and a resistive-conductive-resistive structure, where the upper layer has 4 meters of thickness.

### Introdução

Métodos geofísicos podem ser utilizados no mapeamento geológico e na prospecção mineral, bem como na identificação e monitoramento de parâmetros ambientais. A geofísica permite obter estimativas sobre as condições da subsuperfície, de maneira rápida, não invasiva e em áreas relativamente grandes, encontrando aplicação, por exemplo, no estudo de solos. O objetivo deste trabalho é apresentar procedimentos para reconhecimento e cartografia de solos, baseados em medições de sua resistividade elétrica.

### Método

No método elétrico de corrente contínua, trabalha-se com dois eletrodos de corrente (A e B) e dois eletrodos de potencial (M e N), os quatro fixados na superfície do terreno. Através dos eletrodos A e B aplica-se uma diferença de potencial  $e$ , como resultado desta diferença, uma corrente elétrica contínua começa a percorrer o terreno. O valor da corrente é medido e registrado. Utilizando os eletrodos M e N, mede-se uma diferença de potencial que se estabelece no terreno e que está associada à passagem da corrente. Deve-se notar que o solo já possui um potencial elétrico natural, o qual deve ser subtraído da medição feita com os eletrodos M e N.

Conhecendo-se a corrente que percorre o subsolo, a geometria da disposição dos eletrodos e o potencial medido entre os eletrodos M e N, pode-se calcular um valor de resistividade elétrica, que, por estar sendo medido em um meio heterogêneo e anisotrópico, e por ser função do arranjo de eletrodos, é dita aparente (Orellana, 1972; Telford *et al.* 1985).

Existem diferentes maneiras de dispor os eletrodos uns em relação aos outros, bem como de transportá-los sobre o terreno a ser estudado. No arranjo de Schlumberger, os eletrodos são distribuídos colinearmente, e a distância entre os eletrodos de corrente é mantida entre 5 e 20 vezes a distância entre os eletrodos de potencial ( $5.MN \leq AB \leq 20.MN$ ) (Koefoed, 1979).

Na sondagem elétrica vertical, ou simplesmente SEV, os eletrodos centrais M e N permanecem fixos, enquanto os eletrodos externos A e B são deslocados lateralmente, afastando-se progressivamente do centro do arranjo. Em princípio, quanto maior a distância AB, maior a profundidade alcançada. Quando AB atinge cerca de 20 vezes MN, torna-se necessário deslocar também os eletrodos de potencial, numa manobra conhecida como embreagem, voltando-se à condição inicial onde AB é de aproximadamente 5 vezes MN. O novo valor de MN é usado até que a condição de AB aproximadamente 20 vezes MN seja novamente atingida e outra embreagem se faça necessária.

As medidas de resistividade elétrica aparente (Ohm.m) são plotadas em um gráfico bi-logarítmico como função de  $AB/2$  (m) e interpretadas, visando obter uma estruturação elétrica vertical análoga à estruturação litológica real. O gráfico pode ser interpretado visualmente para caracterizar qualitativamente o local sondado, em termos de um modelo geoeletrico estratificado verticalmente, ou pode ser comparado com curvas padrão, na tentativa de determinar o número de camadas com resistividades diferentes na subsuperfície e suas respectivas espessuras.

A interpretação das SEVs baseia-se em quatro pressupostos: 1) a subsuperfície consiste de um número finito de camadas horizontais, todas com espessura finita, menos a última cuja espessura é infinita; 2) cada uma destas camadas é eletricamente homogênea (sem variação composicional) e isotrópica (sem variação de alguma propriedade segundo uma dada direção); 3) a corrente tem origem numa fonte pontual na superfície do terreno; 4) a corrente elétrica é contínua (Koefoed, 1979).

### Área de estudo

O Jardim Botânico de Brasília (JBB) é um órgão vinculado à Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente do Distrito Federal. Ele localiza-se na porção central do DF, ocupando 45 km<sup>2</sup> (Figura 1) (SEMATEC, 1994).

A porção norte do JBB, atualmente aberta à visitação, foi alvo de um levantamento pedológico com o intuito de melhor planejar as atividades a serem ali desenvolvidas (Cavedon e Sommer, 1990). Este trabalho consistiu na descrição de 19 perfis de solo, com amostragem de cada horizonte identificado para fins de análise, e da coleta de 26 amostras superficiais e subsuperficiais para avaliação da disponibilidade de nutrientes. O principal resultado deste trabalho foi a elaboração de um mapa de solos em escala 1:10.000, no qual é possível visualizar 21 unidades de mapeamento, entre cambissolos, solos litólicos e latossolos (Figura 2).

No mapa de solos do JBB, C corresponde a cambissolo, com teor de argila entre 15% e 35%, localmente cascalhento (C2). RL corresponde a solo litólico, assentado diretamente sobre quartzito, com teor de argila entre 15 e 35%, com cascalho e afloramentos de rocha. LV corresponde a latossolo vermelho, com teor de argila variando entre 60% (LV1) até 15% (LV3). LVA corresponde a latossolo vermelho amarelo, com teor de argila variando entre 15% (LVA1) até 60% (LVA3).

A existência deste mapa (Figura 2) motivou a realização de trabalhos voltados para o uso de métodos geofísicos aplicados ao reconhecimento dos solos do JBB. Nascimento *et al.* (2003) observaram que a variação no conteúdo de umidade do solo, conforme a época do ano, influencia os valores da resistividade elétrica aparente, e que esta variação é maior nos solos arenosos. Os solos argilosos mostraram valores entre 8.000 e 10.000 Ohm.m, em correspondência à passagem da estação chuvosa para a seca. Nos solos arenosos, o valor desta propriedade variou de 20.000 até 60.000 Ohm.m no mesmo período. Com estes resultados, foi possível concluir que é possível diferenciar solos argilosos e arenosos com base em medidas desta propriedade, independente da época do ano.

Nascimento *et al.* (2005), trabalhando com gamaespectrometria, observaram que os solos de textura fina tem quantidades relativamente grandes de argilominerais e pequenas de quartzo, o inverso ocorrendo com os solos arenosos. Os argilominerais adsorvem potássio, urânio e tório e deste modo, quanto mais argilominerais, maior a quantidade de radiação dos três isótopos. O LV tem mais caulinita que LVA, por isto é mais radioativo. O LVA tem menos caulinita, mais também tem illita, um argilomineral potássico. Esta quantidade adicional de potássio eleva a contribuição radiométrica do <sup>40</sup>K em relação à dos outros isótopos.

Trabalho semelhante aos desenvolvidos no JBB foi executado por Becegato e Ferreira (2005). Estes autores, trabalhando com solos derivados de rochas basálticas e empregando gamaespectrometria, medições de

resistividade e também de susceptibilidade magnética demonstraram como estes métodos geofísicos podem ser utilizados no mapeamento sistemático de solos.

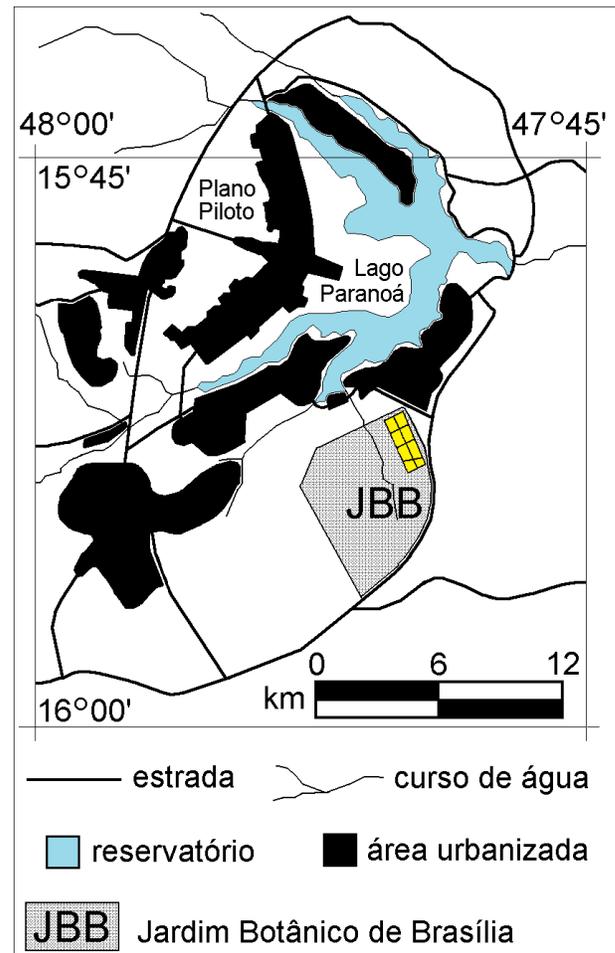


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.

Em dezembro de 2002, foram realizados e sete pares de sondagens elétricas verticais, com o arranjo de Schlumberger, na área do JBB. Cada par foi formado por duas sondagens ortogonais entre si e com mesmo centro, cuja localização pode ser observada na figura 2. Os pares foram posicionados na estrada central do JBB (iv - xiv), com 400 metros de separação. Esta estrada foi escolhida devido ao fato dela atravessar todas as unidades de solo anteriormente cartografadas. Nesta figura, as letras "a" e "b" indicam respectivamente SEV paralela e SEV ortogonal à estrada. O número que designa cada sondagem corresponde à distância em metros a partir do ponto iv. Ao todo foram obtidas 196 medidas de resistividade aparente, 14 em cada sondagem. O equipamento utilizado foi um resistímetro modelo Geopulse, fabricado por Campus Geophysical Instruments. As medidas de resistividade aparente foram processadas por meio do software SOUNDER, Gradient Geology and Geophysics.

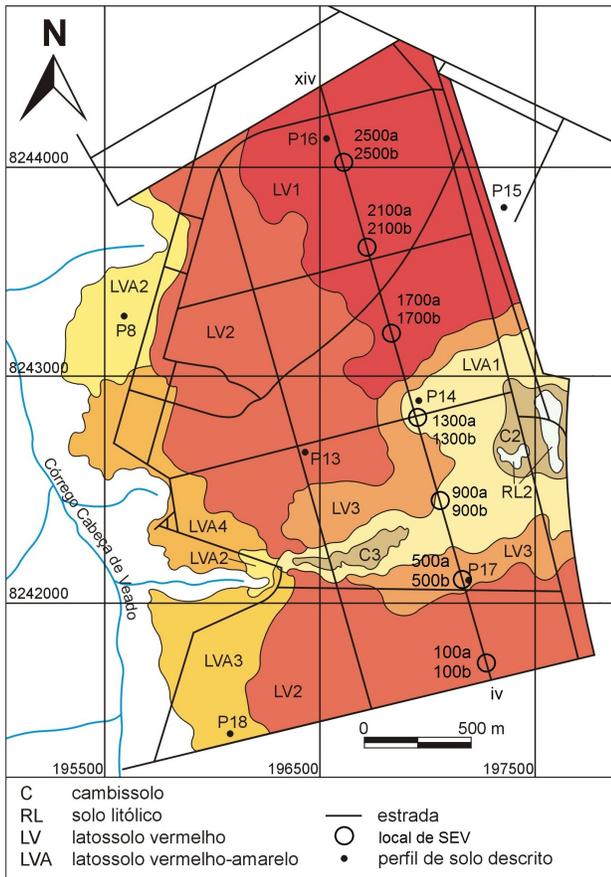


Figura 2 - Mapa de solos do Jardim Botânico de Brasília, com localização das SEVs. Modificado de Cavedon e Sommer (1990).

## Resultados

De modo geral, as SEVs com mesmo centro mostram-se bastante semelhantes. As exceções são as SEVs 1300 e 1700. Nas SEVs 1300, os maiores valores de resistividade ocorrem na sondagem ortogonal à estrada iv-xiv, enquanto nas SEVs 1700, os maiores valores são observados na sondagem paralela à estrada (figuras 3 até 9).

Obtiveram-se 14 modelos para a distribuição da resistividade subsuperficial, sintetizados na tabela 1. Obtiveram-se modelos do tipo resistivo-condutivo-resistivo para as SEVs 100, 1700, 2100 e 2500. Os valores médios da resistividade para as camadas superficial, intermediária e de base são 11000, 1450 e 4200 Ohm.m, respectivamente. As espessuras médias para as camadas superior e intermediária são, respectivamente 4 e 6,4 metros.

Para as SEVs 500, 900 e 1300, os modelos são do tipo condutivo-resistivo-condutivo. Os valores médios da resistividade para as camadas superficial, intermediária e de base são 14200, 30300 e 12000 Ohm.m, respectivamente. As espessuras médias para as camadas superior e intermediária são, respectivamente 1,3 e 7,3 metros.

O objetivo deste trabalho foi estabelecer uma continuidade ao longo da estrada iv-xiv, no que diz respeito à resistividade subsuperficial. Para que isto fosse possível, tornou-se necessário apresentar os 14 modelos de forma integrada, incluindo-se nesta apresentação, a topografia do terreno.

Os dados foram processados por meio do software SURFER, Golden Software Inc. O procedimento empregado consistiu na "gridagem" das medidas usando krigagem, seguida da interpolação dos valores "gridados" (Figuras 10 e 11). Estas seções não representam por si só um resultado invertido dos dados de resistividade aparente originais. Elas servem apenas para ilustrar uma tentativa de integração dos modelos obtidos por meio do SOUNDER e para visualizar, de forma relativa, a variação da resistividade na subsuperfície do trecho percorrido.

De forma geral as porções mais resistivas ocorrem nos trechos de solos arenosos e as porções mais condutivas ocorrem nos trechos de solos argilosos.

Admitindo-se a representatividade dos locais das SEVs, e considerando o valor médio da resistividade para as duas primeiras camadas, chega-se aos valores de 6200 Ohm.m e 22200 Ohm.m, respectivamente para solos argilosos e arenosos. Tratam-se de números válidos para as condições de umidade nas quais foram obtidos (estação chuvosa) e para solos semelhantes aos estudados, no entanto são o resultado de inversão, e portanto isentos do fator de geometria do arranjo de eletrodos.

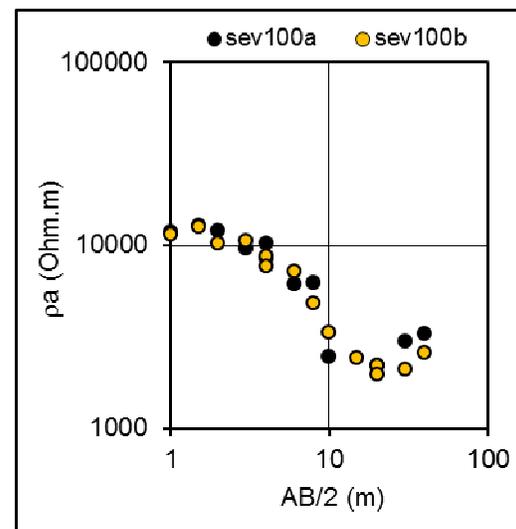


Figura 3 - SEVs 100a e 100b.

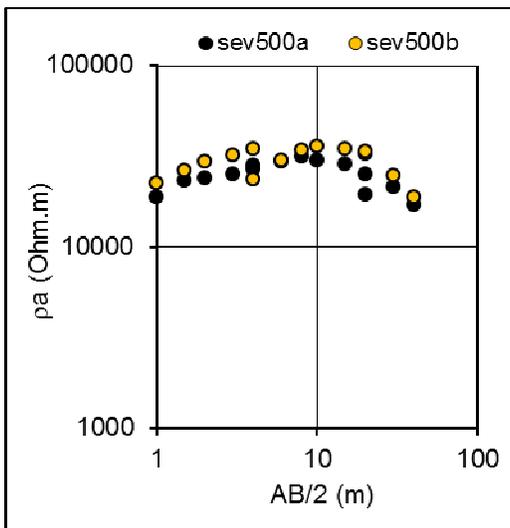


Figura 4 - Sevs 500a e 500b.

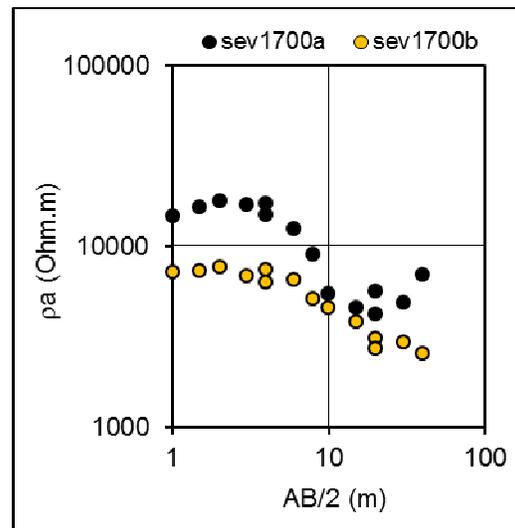


Figura 7 - SEVs 1700a e 1700b.

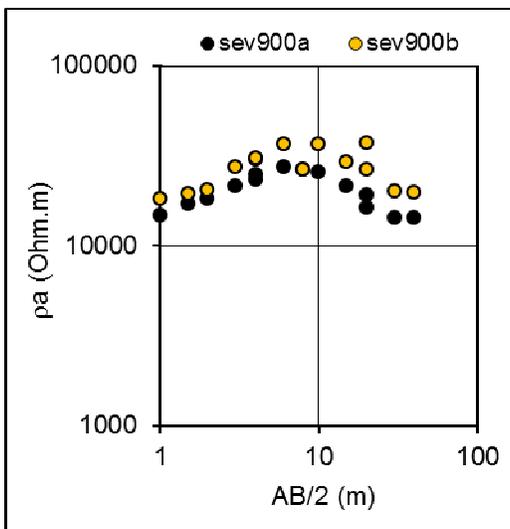


Figura 5 - SEVs 900a e 900b.

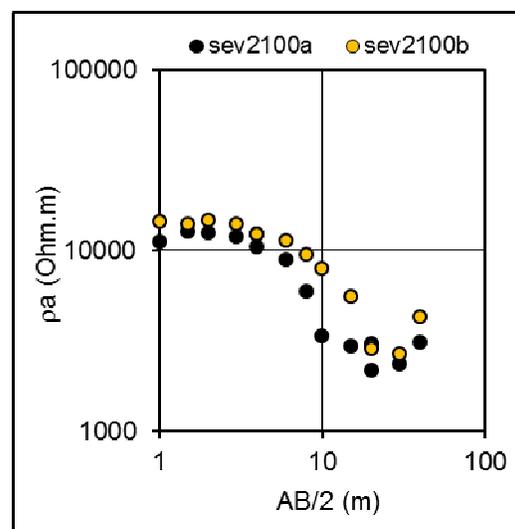


Figura 8 - SEVs 2100a e 2100b.

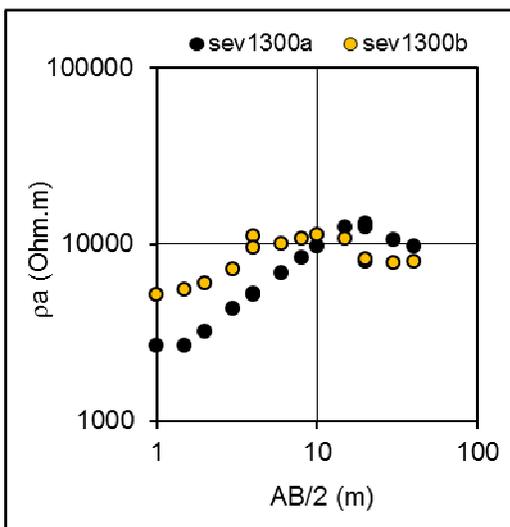


Figura 6 - SEVs 1300a e 1300b.

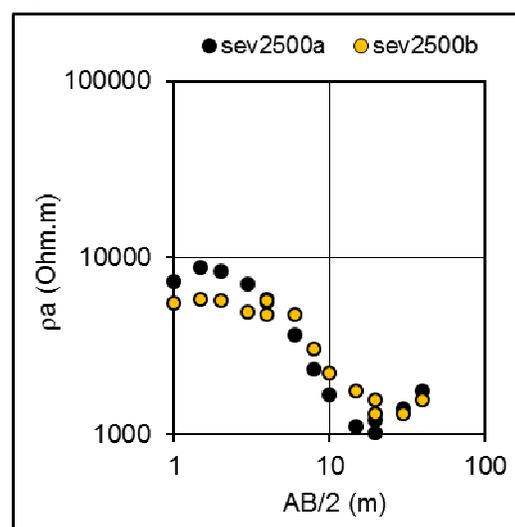


Figura 9 - SEVs 2500a e 2500b.

## Conclusões

Sondagens elétricas verticais executadas sobre os solos argilosos resultaram em modelos do tipo resistivo-condutivo-resistivo, nos quais a camada superior tem espessura média de 4 metros e resistividade média de 11000 Ohm.m, a segunda camada tem 6,4 m e 1450 Ohm.m e a camada de base tem 4200 Ohm.m.

Nos solos arenosos, as sondagens resultaram em modelos do tipo condutivo-resistivo-condutivo, onde a camada superior tem espessura média de 1,3 metros e resistividade média de 14200 Ohm.m, a segunda camada tem 7,3 m e 30300 Ohm.m e a camada de base tem 12000 Ohm.m.

Considerando o valor médio da resistividade para as duas primeiras camadas, chega-se aos valores de 6200 Ohm.m e 22200 Ohm.m, respectivamente para solos argilosos e arenosos. Tratam-se de números válidos para as condições de umidade nas quais foram obtidos e para solos semelhantes aos estudados, no entanto são o resultado de inversão, e portanto isentos do fator de geometria do arranjo de eletrodos.

## Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo auxílio financeiro. Ao Laboratório de Geofísica Aplicada da Universidade de Brasília pelo empréstimo do resistímetro. A direção do Jardim Botânico de Brasília, por autorizar a execução do trabalho de campo.

## Referências

Cavedon, A. D., e Sommer, S., 1990, Jardim Botânico de Brasília; Levantamento Semidetalhado dos solos. Brasília, Fundação Zoobotânica do Distrito Federal, 95p.

Becegato, V. A.; Ferreira, F. J. F. 2005. Gamaespectrometria, resistividade elétrica e susceptibilidade magnética de solos agrícolas no noroeste do Estado do Paraná. Revista Brasileira de Geofísica, 23(4), 371-405.

Koefoed, O., 1979, Resistivity Sounding Measurements. Amsterdam, Elsevier, 276p.

Nascimento, C. T. C., Pires, A. C. B., Moraes, R. A. V., 2003, Variação sazonal da resistividade em latossolos, Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, 8, CD-ROM.

Nascimento, C. T. C., Guimarães, E. M., Pires, A. C. B. 2005. Reconhecimento de solos por meio de gamaespectrometria, Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, 9, CD-ROM.

Orellana, E., 1972, Prospeccion Geoelectrica en Corriente Continua. Madrid, Paraninfo, 523p.

SEMATEC, 1994, Mapa Ambiental do Distrito Federal; Escala 1:150.000. Brasília, Secretaria do Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia.

Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E., Keys, D. A., 1985, Applied Geophysics. Cambridge, Cambridge University Press, 860p.

Tabela 1 - Síntese dos modelos obtidos. E = espessura em metros;  $\rho$  = resistividade em Ohm.m.

SEV	E1	$\rho_1$	E2	$\rho_2$	E3	$\rho_3$
100a	3,5	11000	6,5	1500	$\infty$	3000
100b	3,5	11000	6,5	1500	$\infty$	2500
500a	1,5	21000	8,5	36000	$\infty$	15000
500b	1,5	26000	8,5	40000	$\infty$	16000
900a	1,0	15000	7,0	32000	$\infty$	11000
900b	1,0	15000	7,0	40000	$\infty$	15000
1300a	1,5	2500	8,0	20000	$\infty$	7000
1300b	1,5	5500	5,0	14000	$\infty$	8000
1700a	3,5	18000	6,5	2500	$\infty$	8000
1700b	5,0	7300	5,0	2550	$\infty$	2500
2100a	3,5	12500	6,5	1500	$\infty$	3250
2100b	5,5	15000	7,5	1000	$\infty$	9000
2500a	3,0	8000	6,5	450	$\infty$	3500
2500b	4,5	5500	6,5	600	$\infty$	2000

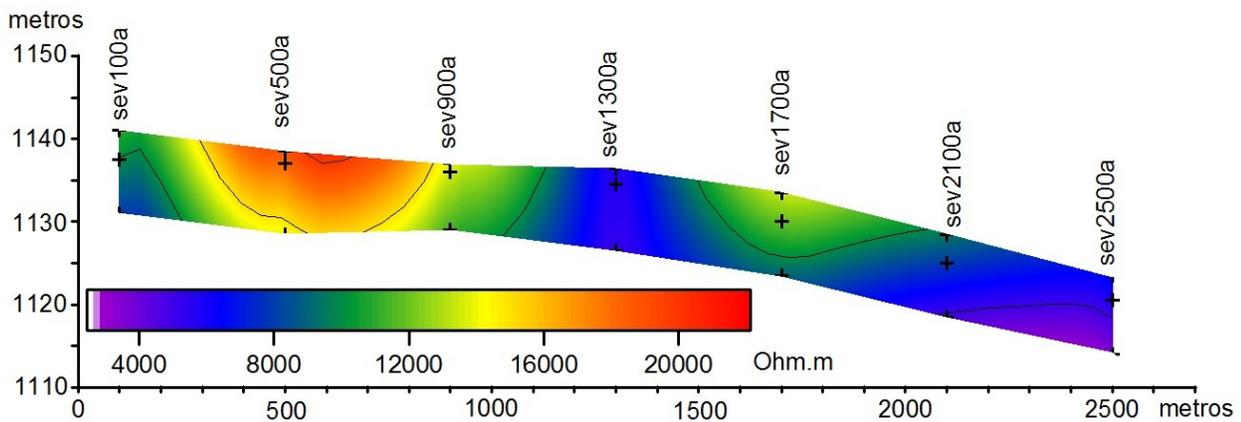


Figura 10 - Representação conjunta das sondagens elétricas verticais paralelas à estrada iv - xiv.

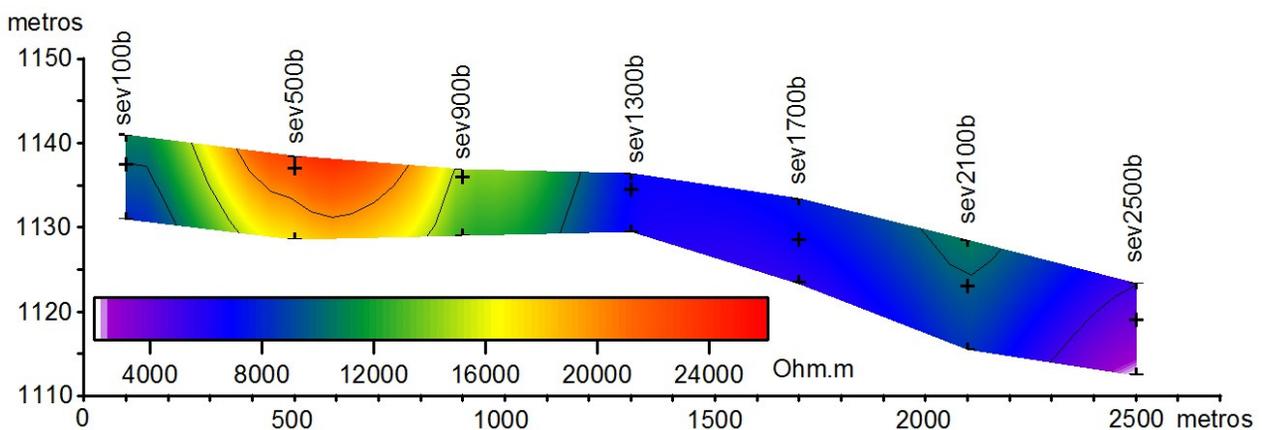


Figura 11 - Representação conjunta das sondagens elétricas ortogonais à estrada iv - xiv.