

# ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA



| Relatório Técnico Temático |  
Investigação Geofísica da  
Região de Belém/PA



**República Federativa do Brasil**

Michel Miguel Elias Temer Lulia

Presidente da República

**Ministério do Meio Ambiente**

Edson Duarte

Ministro

**Agência Nacional de Águas**

**Diretoria Colegiada**

Christianne Dias Ferreira - Diretora-Presidente

Ricardo Medeiros de Andrade

Ney Maranhão

Oscar de Moraes Cordeiro Netto

Marcelo Cruz

**Superintendência de Implementação de Programas e Projetos - SIP**

Tibério Magalhães Pinheiro (Superintendente)

Victor Sucupira (Superintendente Adjunto)

**Coordenação de Águas Subterrâneas - COSUB**

Fernando Roberto de Oliveira (Coordenador)

Adriana Niemeyer Pires Ferreira

Fabício Bueno da Fonseca Cardoso

Letícia Lemos de Moraes

Leonardo de Almeida (Gestor Substituto do Contrato)

Márcia Tereza Pantoja Gaspar (Gestora do Contrato)

© 2018 Agência Nacional de Águas – ANA  
Setor Policial, Área 5, Quadra 3, Blocos B, L, M, N, O e T  
CEP: 70610-200, Brasília - DF  
PABX: 2109-5400 / 2109-5252  
Endereço eletrônico: <http://www.ana.gov.br>

Capa: Vanessa Cardoso  
Local da Foto: Teatro da Paz – Belém/PA  
Autor da fotografia: Cristiano Cantão

Equipe:

**Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização – CTAF**

Márcia Tereza Pantoja Gaspar (ANA)	Leonardo de Almeida (ANA)	
Márcia Helena D’Oliveira Nascimento (SEMAS/PA)	Juvenal Andrade Neto (SEMAS/PA)	Luciene Mota de Leão Chaves (SEMAS/PA)
Homero Reis de Melo Junior (CPRM)	Manoel Imbiriba Junior (CPRM)	Valmor José Freddo Filho (CPRM)
Raimundo Nonato do Espírito Santo (UFPA/IG)	Ronaldo Lopes Mendes (UFPA/NUMA)	Giovanni Chaves Penner (UFPA/ITEC)
Wanderley Nascimento da Silva (COSANPA)	Alessandra Machado Noronha (AMAE)	Hélida Gonçalves Soares (SEMMA Belém)
Edivan de Jesus Souza (SEMMA Marituba)	Fernando Monteiro da Silva (SEMMA Marituba)	Rosângela Maria L. da Rocha (SEMMA Marituba)
Alexsandra Christine Borges de Queiroz (SEMMA Marituba)	Ricelly Luciana Luz Maia do Rosário (SEMMA Santa Izabel do Pará)	Carla Marques de Oliveira (SEMMA Santa Bárbara do Pará)

**Elaboração e Execução – PROFILL Engenharia e Ambiente S.A.**

Mauro Jungblut – Coordenação Geral  
Cíntia Letícia Sallet – Gerente de Projetos

**Membros da Equipe Técnica Executora:**

Flávio de Paula e Silva e Tiago Vier Fischer – Coordenação Técnica		
Antônio Flavio Uberti Costa	Antônio Silvío Jornada Krebs	Ana Luiza Helfer
Carla Gasparini	Carlos Bortoli	Daniel Wiegand
Guilherme Joaquim	Igor Alves	Isabel Rekowsky
Marcia Regina Stradioto	Neomar Oliveira Fraga	Rodrigo Tusi Costa
Sidnei Agra		

**Agradecimentos**

Agradecemos a todos os colaboradores e usuários de recursos hídricos que direta ou indiretamente contribuíram com a elaboração deste trabalho.

Todos os direitos reservados.

É permitida a reprodução de dados e de informações, desde que citada a fonte.

**A265e** Agência Nacional de Águas (Brasil).  
Estudos Hidrogeológicos para a Gestão das Águas Subterrâneas da Região de Belém/PA: Relatório Técnico Temático: Investigação Geofísica da Região de Belém / Agência Nacional de Águas; Elaboração e Execução: Profill Engenharia e Ambiente S.A – Brasília: ANA, 2018.

151 p. il.

1. Hidrogeologia. 2. Bacias Hidrográficas. 3. Belém, Região Metropolitana de (PA). I. Título

**CDU 556.3**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização dos dados utilizados na integração entre Geofísica e Geologia: SEVs deste estudo e de SEVs (MENDES, 2000); Poços Tubulares (SIAGAS); Perfisagens Geofísicas (MENDES, 2000). .....	8
Figura 2 – Perfis mostrando os pacotes sedimentares (modificado de NASCIMENTO, 2003). .....	12
Figura 3 - Correlação entre perfis dispostos nos sentido sul-norte, distribuídos ao longo de toda a RMB, separando pacotes predominantemente argilosos de arenosos (modificado de NASCIMENTO, 2003). .....	13
Figura 4 - Exemplos de sondagem elétrica vertical (SEV) com ABs até 500 m (modificado de MENDES e VERMA, 2008). .....	14
Figura 5 - Localização dos poços perfilados e das SEVs na Região Metropolitana de Belém (modificado de MENDES e VERMA, 2008). .....	15
Figura 6 - Seção A-A' e correlação entre perfis geofísicos e SEVs (modificado de MENDES e VERMA, 2008). .....	16
Figura 7 - Seção B-B' e correlação entre perfis geofísicos e SEVs (modificado de MENDES e VERMA, 2008). .....	16
Figura 8 - Localização das estações gravimétricas na Ilha do Mosqueiro. ....	18
Figura 9 - Mapa Bouguer em relevo (A) e em planta (B). Localização dos perfis A-A' e B-B' (modificado de PALHETA, 2008). .....	18
Figura 10 - Perfis Bouguer A-A' e B-B' (modificado de PALHETA, 2008). .....	19
Figura 11 - Localização das SEVs (modificado de PALHETA, 2008). .....	19
Figura 12 - Exemplos de SEVs (AB 500 m) (modificado de PALHETA, 2008). .....	20
Figura 13 - Seção interpretada obtida da correlação entre SEVs (modificado de PALHETA, 2008). .....	20
Figura 14 - Modelos de blocos soerguidos e rebaixados definidos a partir dos modelos de dados gravimétricos (modificado de PALHETA, 2008). .....	21
Figura 15 - Localização das estações gravimétricas na Região Metropolitana de Belém (modificado de OLIVEIRA; SILVA, 2011). .....	22
Figura 16 - Mapa Bouguer da Região Metropolitana de Belém. (A) Mapa Bouguer e (B) Mapa Bouguer interpretado com definição de Alto Gravimétrico de Santo Antonio do Tauá e Baixo Gravimétrico da Fossa Vigia-Castanhal (modificado de OLIVEIRA; SILVA, 2011). .....	22
Figura 17 - Perfil gravimétrico regional SW-NE e modelo geofísico de distribuição de massas (modificado de OLIVEIRA; SILVA, 2011). .....	23
Figura 18 - Modelo gravimétrico regional SW-NE, interpretado a partir da correlação com a geologia da região (modificado de OLIVEIRA; SILVA, 2011). .....	23
Figura 19 - Esquema do método eletrorresistividade – 04 eletrodos AMNB. ....	25
Figura 20 - Diferentes técnicas de aquisição de dados de eletrorresistividade. ....	26
Figura 21 - Diferentes arranjos entre eletrodos utilizados para eletrorresistividade. ....	26
Figura 22 - Exemplo de Inversão 1D – Modelagem 1D feita através do <i>software</i> EarthImager, desenvolvido por AGI Advanced Geosciences Inc®. .....	27
Figura 23 - Exemplo de inversão e modelagem IE2D (modificado de LOKE e BARKER, 1996). .....	28
Figura 24 - Resistímetro com aquisição automática de dados. ....	29
Figura 25 - SEV-23 - SuperSting R8 IP (porta malas do carro) e carretéis dos fios de corrente. ....	30
Figura 26 - Execução da SEV-21. ....	30
Figura 27 - Correlação do Poço SIAGAS 1500006582 (Poço Estrela D'Alva) com a SEV-06. ....	34
Figura 28 - Correlação do Poço SIAGAS 1500007090 (sem nome) com a SEV-10. ....	35
Figura 29 - Correlação do Poço SIAGAS 1500005738 (Poço Casa Branca Constr. Mineração) com a SEV-11. ....	36
Figura 30 - Correlação do Poço SIAGAS 1500001851 (sem nome) com a SEV-20. ....	37
Figura 31 - Correlação do Poço SIAGAS 1500004625 (sem nome) com a SEV-21. ....	38

Figura 32 - Correlação do Poço SIAGAS 1500005776 (Poço Plamax) com a SEV-32. ....	39
Figura 33 - Correlação dos Poços SIAGAS 1500003837 (Outeiro-Poço/02) e 1500001997 (Poço Colégio Agrícola) com a SEV-37. ....	40
Figura 34 - Localização das SEV's 31 e 35. ....	42
Figura 35 - Perfilagem geofísica do poço 25. ....	43
Figura 36 - Mapa Bouguer gerado a partir dos dados gravimétricos da CPRM (OLIVEIRA e SILVA, 2011). ....	45
Figura 37 - Mapa Bouguer regional gerado a partir dos dados gravimétricos da CPRM (OLIVEIRA e SILVA, 2011). ....	46
Figura 38 - Mapa Bouguer Residual gerado a partir dos dados gravimétricos da CPRM (OLIVEIRA e SILVA, 2011). ....	47
Figura 39 - Mapa Bouguer regional com filtro gaussiano de 10 km gerado a partir dos dados gravimétricos da CPRM (OLIVEIRA e SILVA, 2011). ....	48
Figura 40 - Mapa de cota do nível freático definido a partir das SEV's. ....	57
Figura 41 - Mapa estrutural. ....	58
Figura 42 - Mapa de isolinhas de resistividade média das unidades geolétricas interpretadas como Barreiras. ....	60
Figura 43 - Mapa de isolinhas de resistividade média das unidades geolétricas interpretadas como Pirabas Superior. ....	61
Figura 44 - Mapa de isolinhas de resistividade média das unidades geolétricas interpretadas como Pirabas Inferior. ....	62
Figura 45 - Mapa de profundidade da base da Unidade Barreiras. ....	64
Figura 46 - Mapa de profundidade da base da Unidade Pirabas Superior. ....	65
Figura 47 - Mapa de profundidade da base da Unidade Pirabas Inferior. ....	66
Figura 48 - Mapa de isópacas da unidade Pirabas Superior. ....	67
Figura 49 - Mapa de isópacas da unidade Pirabas Inferior. ....	68
Figura 50 - Localização das seções geofísicas AB, CD e EF. ....	70
Figura 51 - Seção geofísica A-B. ....	71
Figura 52 - Seção geofísica C-D. ....	72
Figura 53 - Seção geofísica E-F. ....	73

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resistividades características dos materiais. ....	29
Quadro 2 - Relação das SEV realizadas na área de estudo. ....	32
Quadro 3 – Valores de resistividade mínima, máxima, média e desvio padrão para cada unidade aquífera. ....	41
Quadro 4 - Informações dos poços utilizados para a correlação geofísica. ....	51

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>LEVANTAMENTO, SISTEMATIZAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE DADOS SECUNDÁRIOS</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1</b>	<b>DADOS GEOFÍSICOS EXISTENTES</b> .....	<b>9</b>
2.1.1	<i>Trabalhos Anteriores com Aplicação de Metodologia Geofísica sem Relação Direta com o Tema do Projeto</i> .....	9
2.1.2	<i>Trabalhos Anteriores que tem Relação Direta com o Tema do Projeto</i> ....	11
<b>3</b>	<b>ASPECTOS METODOLÓGICOS</b> .....	<b>24</b>
<b>3.1</b>	<b>METODOLOGIA E ESPECIFICAÇÕES</b> .....	<b>24</b>
3.1.1	<i>Fundamentação Teórica do Método Eletrorresistividade</i> .....	24
<b>3.2</b>	<b>ESPECIFICAÇÕES DO LEVANTAMENTO</b> .....	<b>29</b>
3.2.1	<i>Métodos e Equipamentos</i> .....	29
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>31</b>
<b>4.1</b>	<b>LOCALIZAÇÃO DAS SEV'S</b> .....	<b>31</b>
<b>4.2</b>	<b>LEVANTAMENTO GEOFÍSICO</b> .....	<b>33</b>
4.2.1	<i>SEV's Paramétricas – Correlação da Geofísica à Geologia</i> .....	33
4.2.2	<i>SEV's Realizadas no Projeto – Processamento e Interpretação</i> .....	41
4.2.3	<i>Reprocessamento das SEV's levantadas por Mendes (2000)</i> .....	42
4.2.4	<i>Reprocessamento dos Perfis Geofísicos de Poços (MENDES, 2000)</i> .....	43
4.2.5	<i>Mapas Gravimétricos Reprocessados (OLIVEIRA e SILVA, 2011)</i> .....	44
4.2.6	<i>Integração e Correlação das Informações Geofísicas com os Dados de Poços</i> .....	49
<b>4.3</b>	<b>PRODUTOS DA INTEGRAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS</b> .....	<b>56</b>
4.3.1	<i>Mapa da Cota do Nível Freático</i> .....	56
4.3.2	<i>Mapa Estrutural Definido com Base na Gravimetria</i> .....	56
<b>4.4</b>	<b>MAPAS QUALITATIVOS DE RESISTIVIDADE APARENTE DAS UNIDADES INVESTIGADAS</b> .....	<b>59</b>
<b>4.5</b>	<b>MAPAS QUANTITATIVOS GERADOS A PARTIR DAS PROFUNDIDADES DOS LIMITES ENTRE AS UNIDADES</b> .....	<b>63</b>
<b>4.6</b>	<b>SEÇÕES GEOFÍSICAS FINAIS</b> .....	<b>69</b>
<b>4.7</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>74</b>
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>76</b>
<b>6</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>79</b>



# 1 INTRODUÇÃO

Este Relatório Técnico Temático apresenta os resultados das investigações geofísicas desenvolvidas no âmbito dos “*Estudos Hidrogeológicos para a Gestão das Águas Subterrâneas da Região de Belém/PA*”.

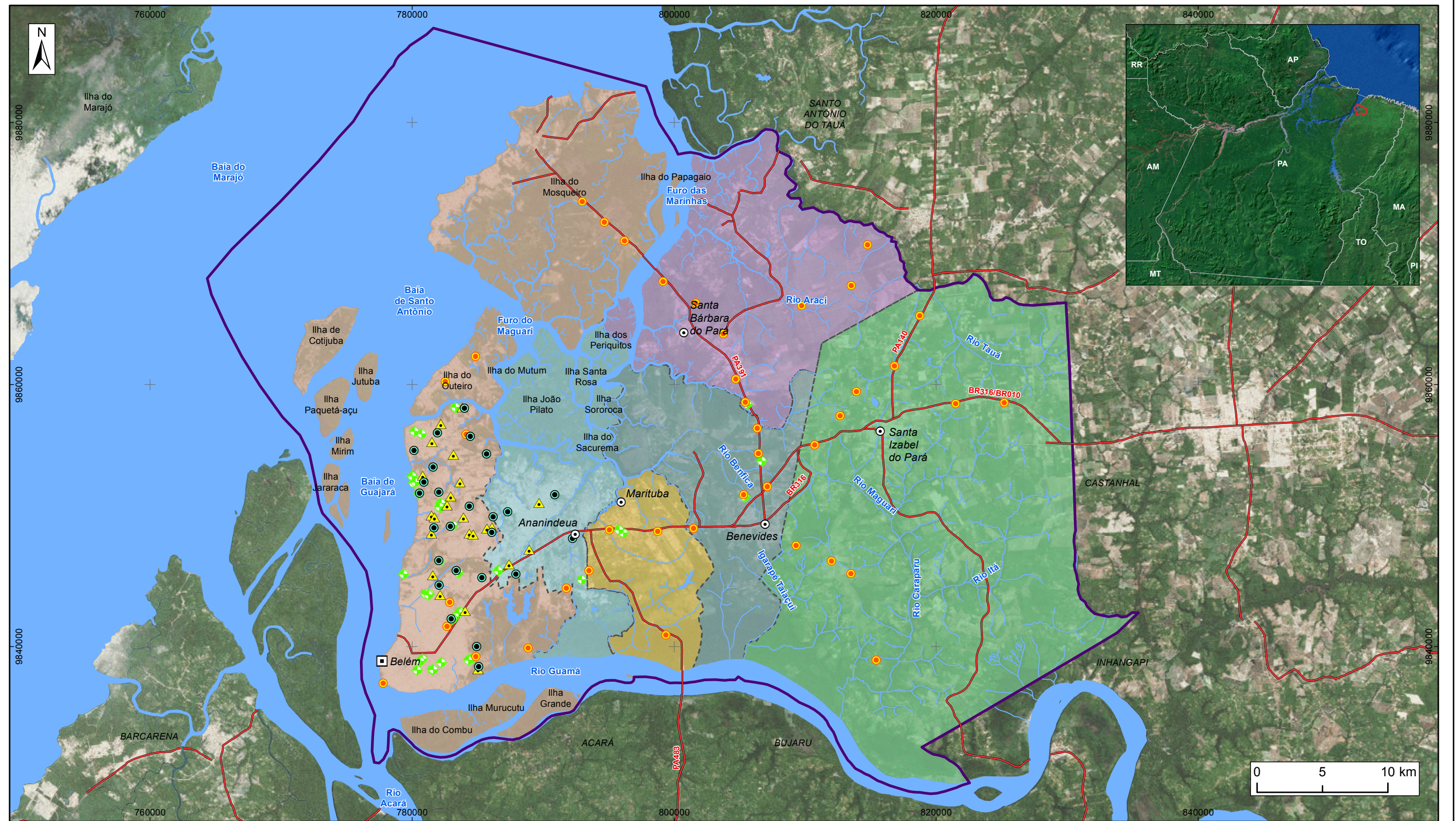
A geofísica utiliza técnicas que permite estabelecer modelos físicos através de métodos indiretos, que tem por característica identificar e propor modelos para o comportamento do substrato geológico e suas distintas características a partir de variações de propriedades físicas encontradas em subsuperfície. Ainda, permite cobrir áreas extensas com baixos custos de levantamento.

Os serviços desenvolvidos neste estudo objetivaram determinar a distribuição espacial, espessura, litofácies e profundidade do nível d’água dos sistemas aquíferos correspondentes ao arcabouço hidrogeológico da área de estudo, através do uso de técnicas e equipamentos modernos e de alto desempenho, possibilitando a aquisição de dados precisos e confiáveis.

Empregou-se nestes estudos o Método da Eletroresistividade, através da técnica de Sondagem Elétrica Vertical (SEV), além da busca de dados já existentes na literatura e outros levantamentos já realizados no âmbito de outros projetos na área.

Os locais de execução dos ensaios foram escolhidos de maneira a distribuí-los ao longo de toda área de estudo, buscando a melhor espacialização, e respeitando as limitações topográficas, de urbanização, segurança e metodológicas. O conteúdo final resumido deste tema consta no Volume 1 do Relatório Final dos estudos.

Todo o desenvolvimento das investigações geofísicas utilizadas nos levantamentos ao longo do projeto será discriminado detalhadamente ao longo deste Relatório Técnico Temático e os dados brutos e processados estão nos anexos, também em meio digital e no banco de dados dos estudos. A Figura 1 ilustra a localização dos ensaios geofísicos executados na área de estudo.



**LEGENDA**

- ▣ Capital Estadual
- ⊙ Sede Municipal
- SEVs Extraídas de Mendes (2000)
- Sondagem Elétrica Vertical (SEV)
- ◆ Poços - Integração Geologia/Geofísica
- ▲ Perfis Geofísicos (Perfilagens)
- ~ Hidrografia
- Rodovia
- ☪ Massa d'água
- ⬮ Área de Estudo
- - - Limite municipal

**Figura 1 – Dados utilizados na integração entre Geofísica e Geologia: SEVs do projeto; SEVs (Mendes, 2000); Poços Tubulares (SIAGAS); Perfilagens Geofísicas (Mendes, 2000)**



**ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA**

Fonte: Rodovia: SEMAS/PA. Limites políticos: IBGE  
 Hidrografia: CPRM. Ilhas: adaptado de SEMAS/PA  
 SEVs: ANA/PROFILL, 2017; Mendes, 2000; Poços tubulares: SIAGAS

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_1_Integração_Geofisica_Geologia_A3
Escala:	1:290.000

## 2 LEVANTAMENTO, SISTEMATIZAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE DADOS SECUNDÁRIOS

### 2.1 DADOS GEOFÍSICOS EXISTENTES

Inicialmente realizou-se uma pesquisa bibliográfica enfatizando os trabalhos que utilizaram a metodologia geofísica e que foram executados, anteriormente, na região da Grande Belém. Nesta pesquisa foram analisados 18 trabalhos, incluindo uma publicação em congresso, dois artigos publicados em revistas científicas, um relatório técnico, 12 dissertações de mestrado e duas teses de doutorado. Os resumos estão ordenados cronologicamente e foram separados em dois grupos.

No primeiro grupo, os 12 trabalhos analisados consistem na aplicação de geofísica voltada para a delimitação e caracterização quantitativa e qualitativa dos aquíferos Pirabas, Barreiras e Pós-Barreiras na região da Grande Belém. Alguns dos temas desses trabalhos, de modo geral, são investigações que foram feitas em áreas localizadas e com objetivos específicos, como a contaminação provocada em áreas de cemitério, profundidade do maciço rochoso para avaliações geotécnicas, influência de um depósito sanitário nas águas subterrâneas, arqueologia, dentre outros. Além disso, muitos trabalhos usaram métodos de alcance limitado em profundidade, como o GPR ou georadar, fazendo uma investigação rasa do terreno.

Os demais trabalhos analisados consistem em aplicações, diretamente, voltadas para o estudo dos aquíferos em questão e, de modo geral, avaliaram os sistemas aquíferos em uma escala regional e em maior profundidade. Esses trabalhos contêm informações detalhadas, com a apresentação de seções e mapas geofísicos, aqui inseridos como figuras, ilustram os resultados obtidos.

#### ***2.1.1 Trabalhos Anteriores com Aplicação de Metodologia Geofísica sem Relação Direta com o Tema do Projeto***

- **ARAÚJO (1987)**: estudo detalhado de geotermia rasa, até 210 m de profundidade, realizado na região do município de Belém;
- **BARBOSA (2000)**: investigação geofísica para mapear camadas litológicas e, conseqüentemente, o topo da camada rija;

- **BAHIA (2003)**: as medidas geofísicas eletromagnéticas (EM) realizadas refletiram a presença de camadas argilosas e do lençol freático, relativamente, próximo à superfície do terreno. Os resultados desse método indireto permitiram identificar valores anômalos (alta condutividade) em alguns locais, que foram, posteriormente, verificados com a instalação de poços de monitoramento e análise geoquímica de amostras de água;
- **BAHIA; LUIZ; FENZL (2004)**: medidas geofísicas com o Sistema Eletromagnético Slingram foram realizadas na área localizada entre o Depósito de Resíduos Sólidos de Belém e o Lago Água Preta, cuja água é usada no abastecimento da cidade de Belém;
- **NUNES (2005)**: estudo da subsuperfície rasa para investigar a possibilidade de contaminação do subsolo por líquidos usados no tratamento de couros em área industrial. As metodologias geofísicas utilizadas foram eletrorresistividade (na forma de imageamento e através de sondagens verticais), potencial espontâneo, eletromagnético (Slingram) e radar de penetração no solo (GPR);
- **MELO (2007)**: estudo visando a indicação de possíveis localizações de vestígios materiais de ocupação e de alicerces da edificação da senzala no Engenho Murutucu, usando GPR;
- **PINTO (2010)**: trabalho para avaliar a viabilidade do método GPR na localização de tubulações de aço, cimento-amianto, PVC e ferro fundido, de diversos diâmetros, utilizadas pela COSANPA, no abastecimento de água à população da região urbana do município de Belém/Pará;
- **CATETE (2010)**: mapeamento do nível hidrostático para o monitoramento ambiental, visando a verificação das áreas adequadas ou inadequadas para sepultamentos nos cemitérios. Os resultados obtidos com o GPR mostraram que a profundidade do nível hidrostático no cemitério do Tapanã varia de 7 m, na parte mais alta do terreno, a 1 m, na parte mais baixa. O IP evidenciou melhor o enterramento de um corpo do que um túnel. A eletrorresistividade foi eficaz, tanto para a

localização do corpo enterrado, quanto do túnel, com uma melhor definição do túnel;

- **DIAS (2011)**: estudo geofísico de parte de orla fluvial sujeita à erosão, com o objetivo de avaliar o seu uso na detecção de áreas degradadas pela erosão em estágio crítico, antes de seu desmoronamento. Foram utilizados quatro métodos geofísicos: potencial espontâneo (SP), eletrorresistividade, *slingram* (LIN) e radar de penetração do solo (GPR). As medidas foram levantadas durante a maré baixa e a maré alta na tentativa de mapear os caminhos preferenciais subsuperficiais para a entrada de água trazida pela maré alta e, por esse meio, para o trabalho erosivo;
- **SOUZA (2012)**: o levantamento geofísico foi realizado a fim de auxiliar a prospecção arqueológica, indicando locais para futuras escavações com objetivo de detectar estruturas e/ou artefatos enterrados nos sítios. Os radargramas adquiridos nas duas áreas mostraram diversas feições anômalas. Na Área 4a duas trincheiras foram abertas revelando diversos fragmentos arqueológicos;
- **BRASIL (2013)**: trabalho realizado com GPR, método geofísico que permite investigar o subsolo a pequena profundidade com elevada resolução de modo não destrutivo e não invasivo;
- **SANTOS (2014)**: identificação de fácies em poços não testemunhados, com algoritmo inteligente, utilizando apenas os dados da perfilagem de poço. Perfis de densidade, porosidade neutrônica e sônico em poços do Campo de Namorado, Bacia de Campos, RJ.

### **2.1.2 Trabalhos Anteriores que tem Relação Direta com o Tema do Projeto**

- **NASCIMENTO (2003)**: estudo realizado com base em padrões associados à forma das curvas de perfis geofísicos de poços para a captação de água subterrânea na RMB.

O objetivo do estudo de NASCIMENTO (2003) foi o reconhecimento dos Depósitos Cenozoicos e a identificação de seus ambientes de sedimentação. Para isto, foram utilizados os perfis de raios-gama, resistência elétrica e potencial espontâneo em 21 poços, cobrindo a profundidade máxima de 300 metros. Assim, foram identificados dois pacotes de sedimentos: um até a profundidade de 160 metros, contendo bastante argila e finas camadas de areia, e o outro abaixo de 160 metros, com espessas camadas arenosas (Figura 2 e Figura 3). Esses pacotes foram correlacionados com sequências deposicionais do Cenozoico Inferior, que correspondem às formações Pirabas, Barreiras e aos sedimentos Pós-Barreiras e Holocênicos.

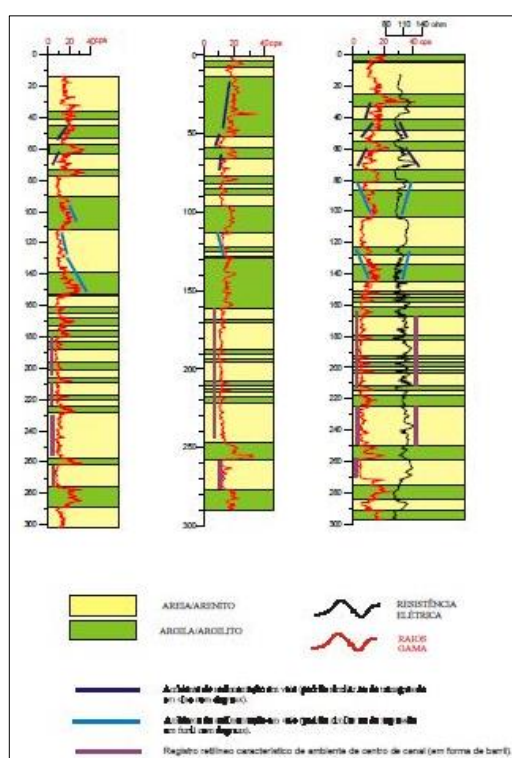


Figura 2 – Perfis mostrando os pacotes sedimentares (modificado de NASCIMENTO, 2003).

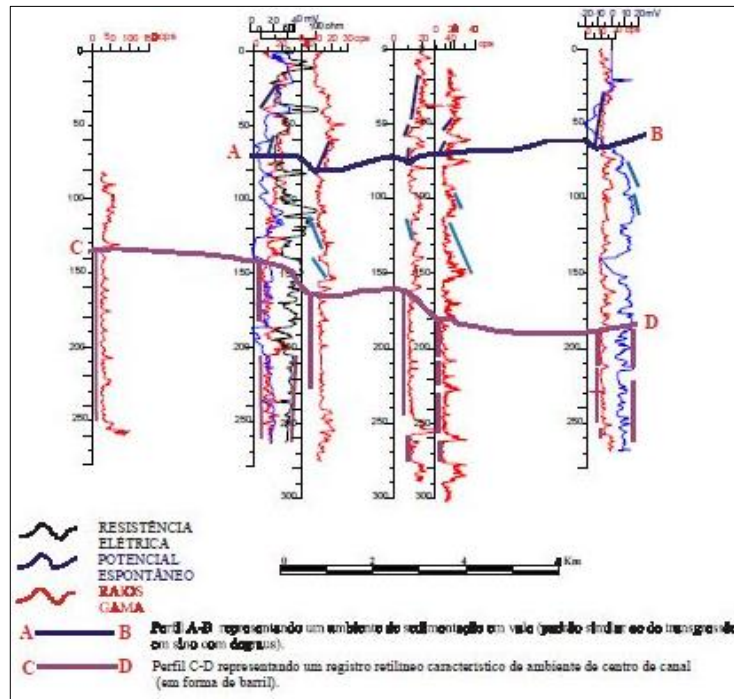


Figura 3 - Correlação entre perfis dispostos nos sentidos sul-norte, distribuídos ao longo de toda a RMB, separando pacotes predominantemente argilosos de arenosos (modificado de NASCIMENTO, 2003).

- **MENDES; VERMA (2000) e MENDES (2000):** o uso de técnicas de perfilagem geofísica de poço e sondagem elétrica vertical permitiu identificar e delimitar os sistemas aquíferos da região, de forma a contribuir com o seu melhor aproveitamento;
- **MENDES; VERMA (2008):** foram integradas informações de perfilagem geofísica de poço e sondagens elétricas verticais com AB's até 500 metros (Figura 4), levando-se em conta o conhecimento geológico na interpretação dos dados, na região de Belém (Figura 5), com a definição de duas zonas aquíferas distintas (Figura 6 e Figura 7).

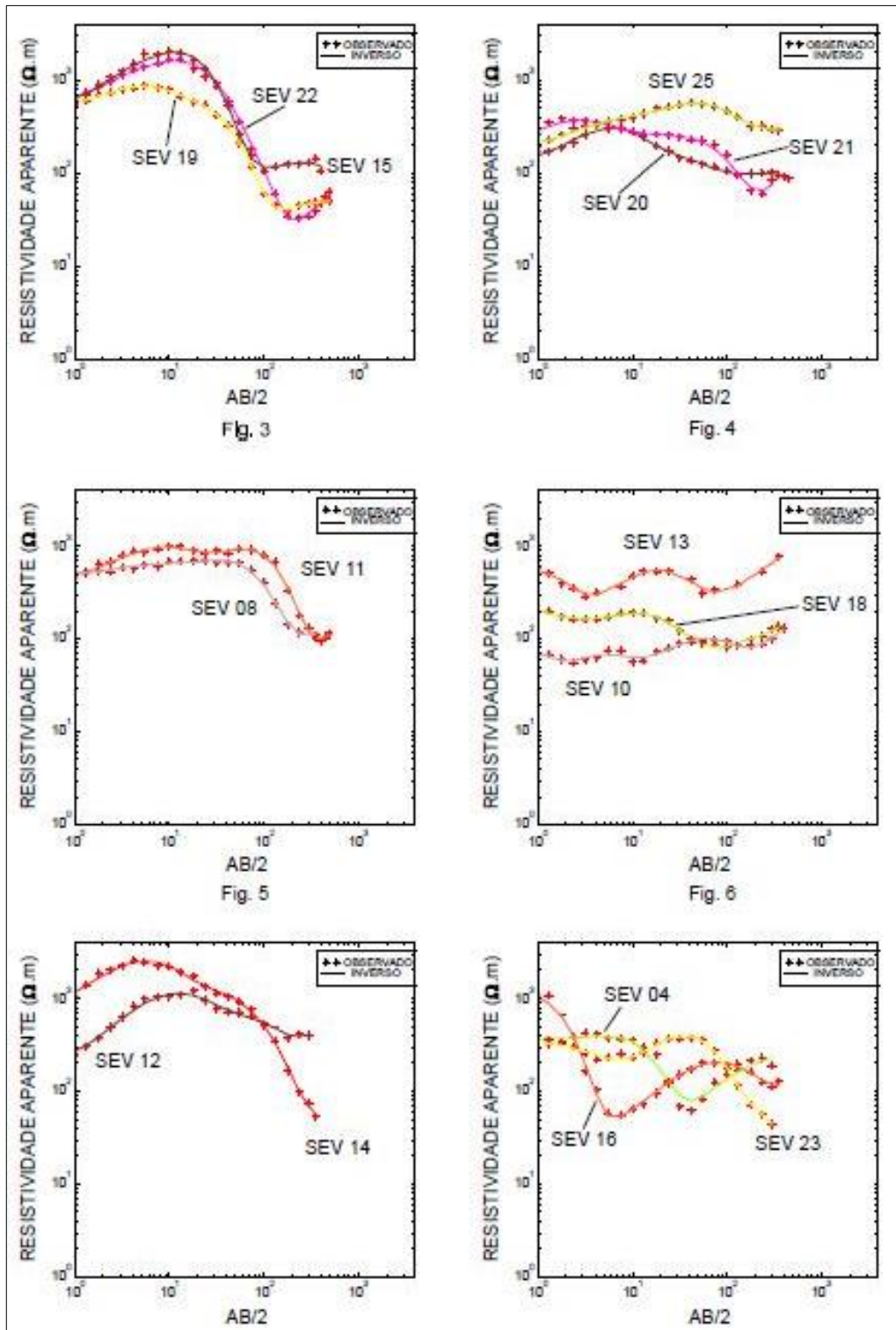


Figura 4 - Exemplos de sondagem elétrica vertical (SEV) com ABs até 500 m (modificado de MENDES e VERMA, 2008).



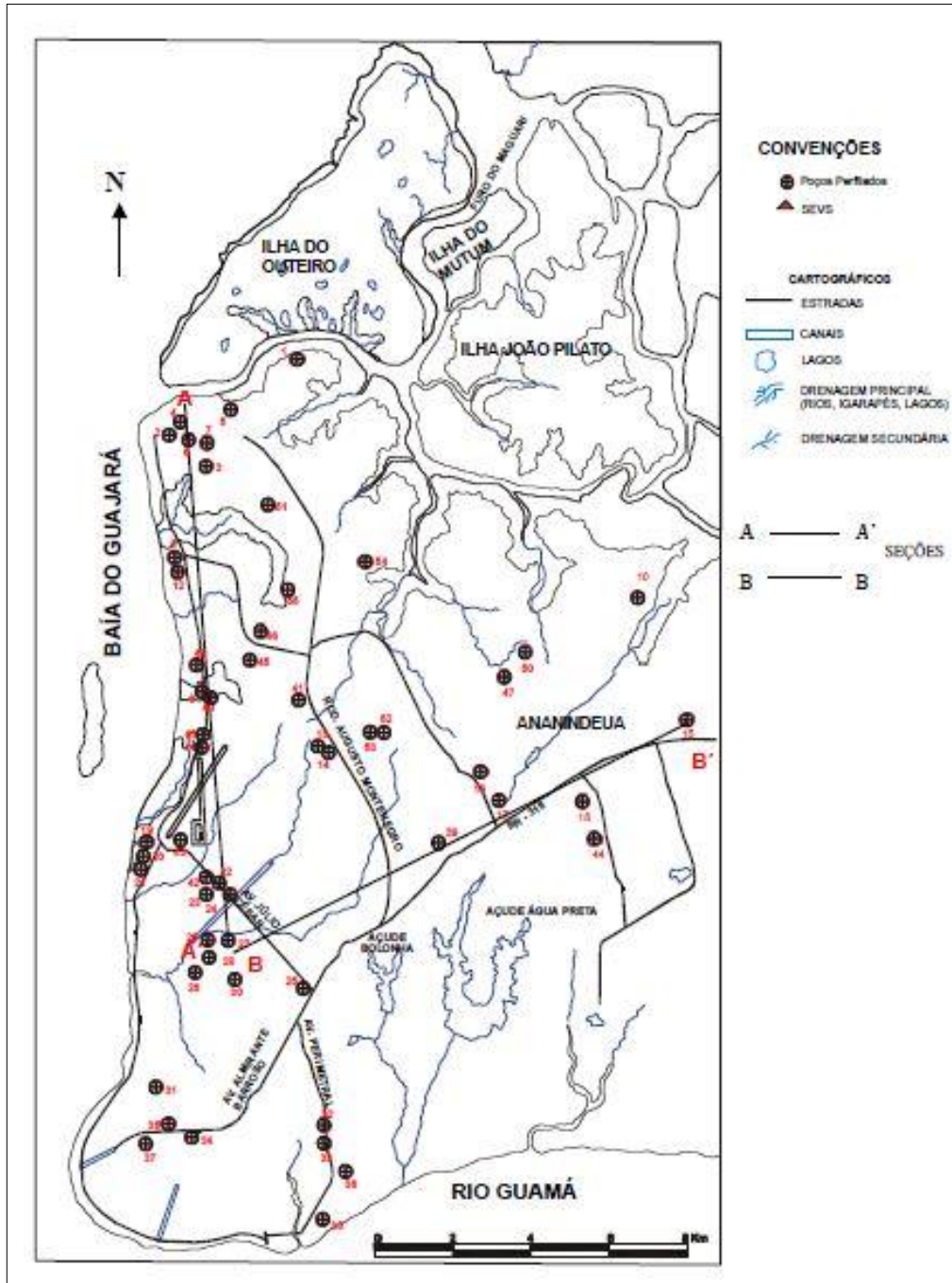


Figura 5 - Localização dos poços perfurados e das SEVs na Região Metropolitana de Belém (modificado de MENDES e VERMA, 2008).

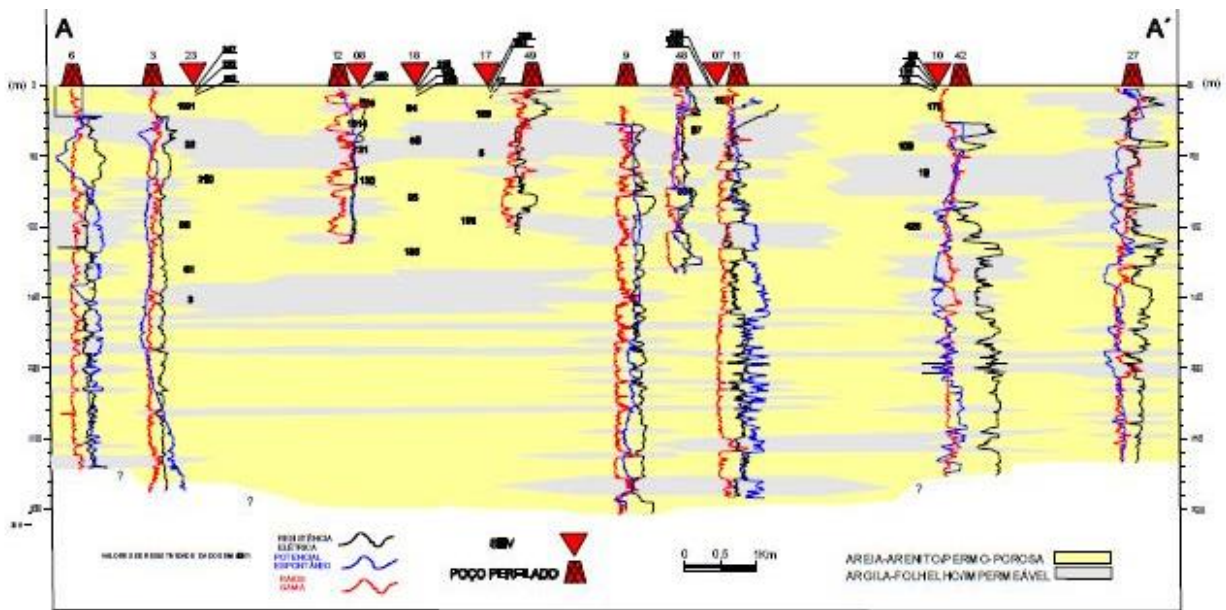


Figura 6 - Seção A-A' e correlação entre perfis geofísicos e SEVs (modificado de MENDES e VERMA, 2008).

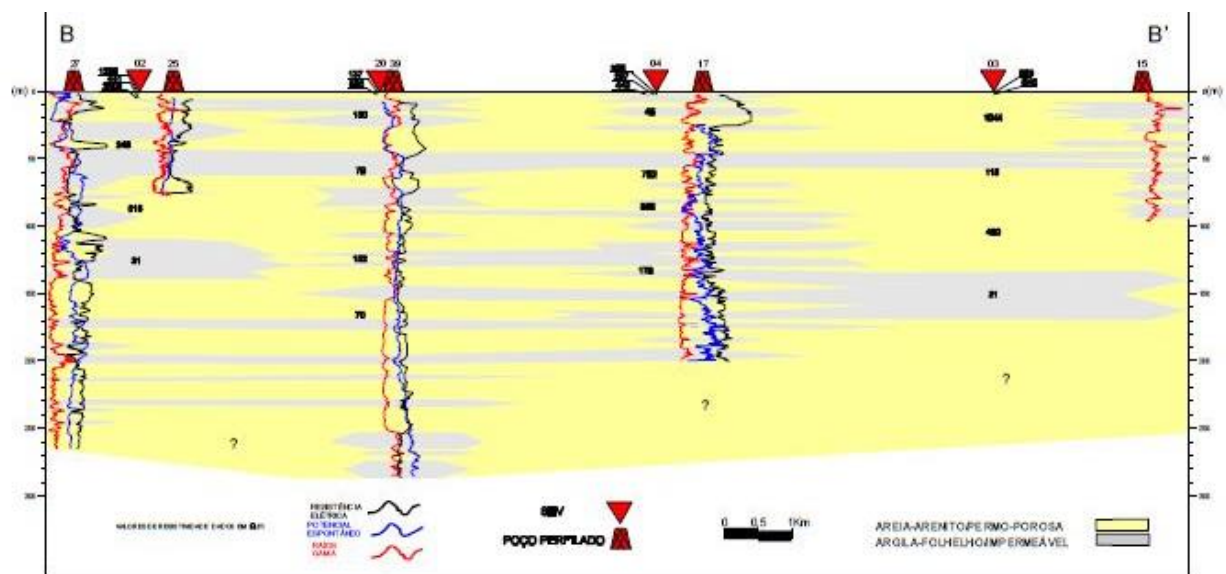


Figura 7 - Seção B-B' e correlação entre perfis geofísicos e SEVs (modificado de MENDES e VERMA, 2008).

Segundo Mendes & Verma (2008), a primeira zona aquífera se estende até a profundidade de 160 metros, com corpos arenosos das mais variadas dimensões, interdigitados com pelitos. Seriam corpos arenosos em meio a planícies de lama de um estuário e gradações laterais também neste sistema. Possivelmente, os sedimentos Barreiras e a porção superior da Formação Pirabas, constituída pela fácies Capanema, de ambiente lagunar ou estuarino e/ou a fácies Baunilha Grande, de ambiente de mangue. O teor elevado de ferro a partir dos 30 ou 40 metros de profundidade, inviabiliza enquanto fonte de água potável, a não ser que algum tratamento seja empregado. Sua produção seria razoável. No entanto, para o abastecimento público pode não ser favorável visto que a os corpos arenosos têm continuidade lateral limitada.

A segunda zona aquífera, segundo os autores, se estende a partir de 160 metros até em torno de 300 metros pelo menos. É constituída, predominantemente, por areias com níveis argilosos. Sua característica principal, a continuidade de seus depósitos por grandes distâncias, induz a interpretar um possível ambiente deposicional marinho. Seria a fácies da Formação Pirabas, gerada em mar aberto. Esta seria a melhor ocorrência de água potável da região, com grande volume de armazenagem e livre de estorvos antrópicos superficiais, servindo ao abastecimento público.

- **PALHETA (2008):** estudos realizados, em abordagem multidisciplinar, incluindo levantamentos geológicos de terreno; extensiva utilização de produtos de sensoriamento remoto que sustentaram a análise da rede de drenagem e dos aspectos morfoestruturais; levantamentos geofísicos usando de técnicas de gravimetria (Figura 8, Figura 9 e Figura 10) e eletrorresistividade (Figura 11, Figura 12 e Figura 13); análises da superfície potenciométrica e da hidroquímica (caracterização físico-química) dos aquíferos rasos.

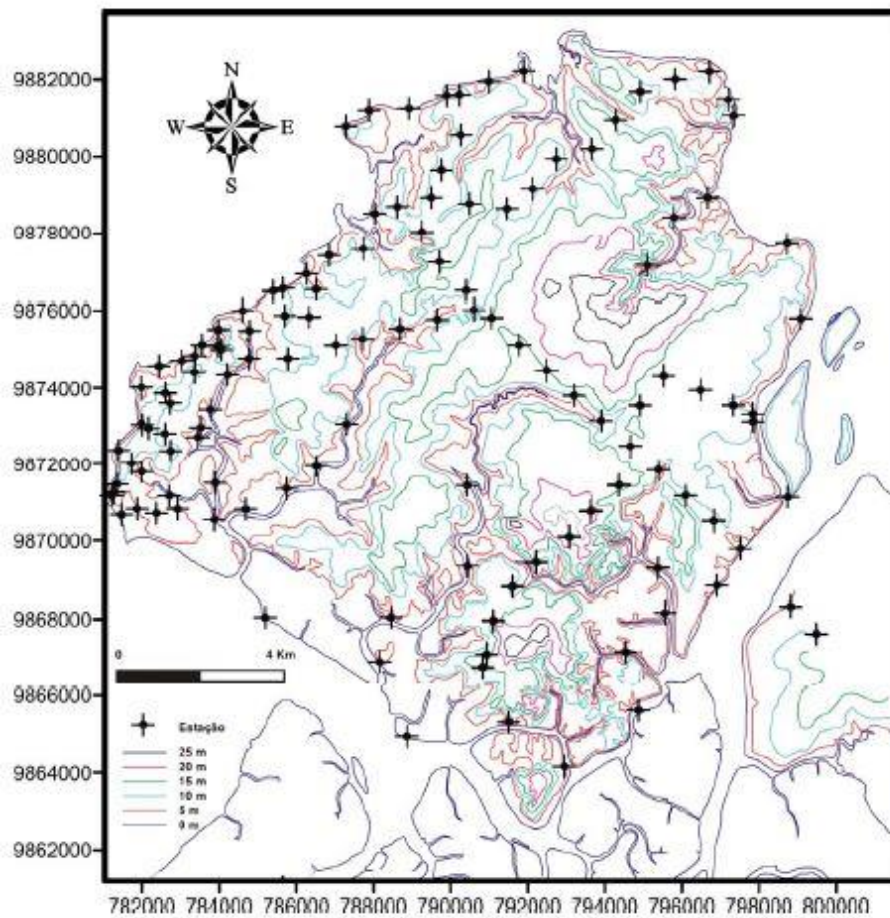


Figura 8 - Localização das estações gravimétricas na Ilha do Mosqueiro.

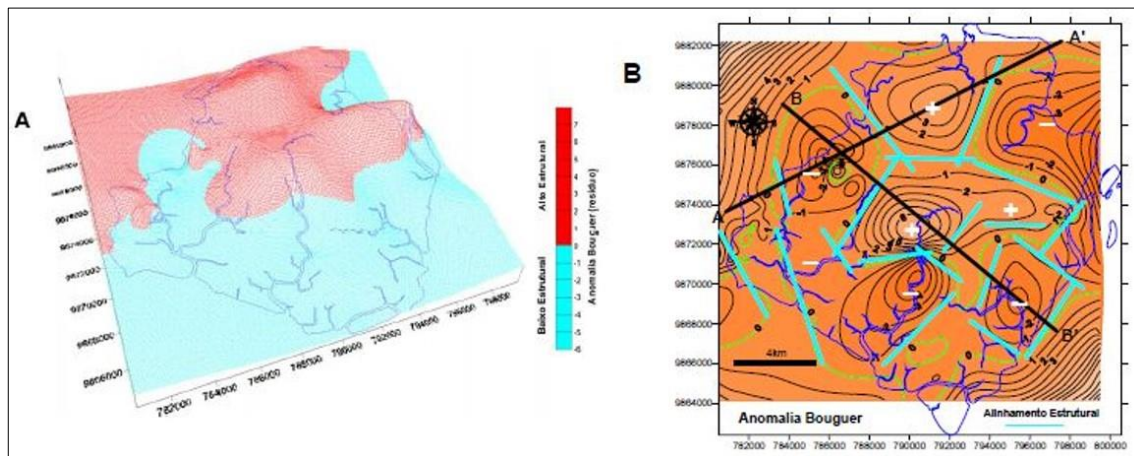


Figura 9 - Mapa Bouguer em relevo (A) e em planta (B). Localização dos perfis A-A' e B-B' (modificado de PALHETA, 2008).

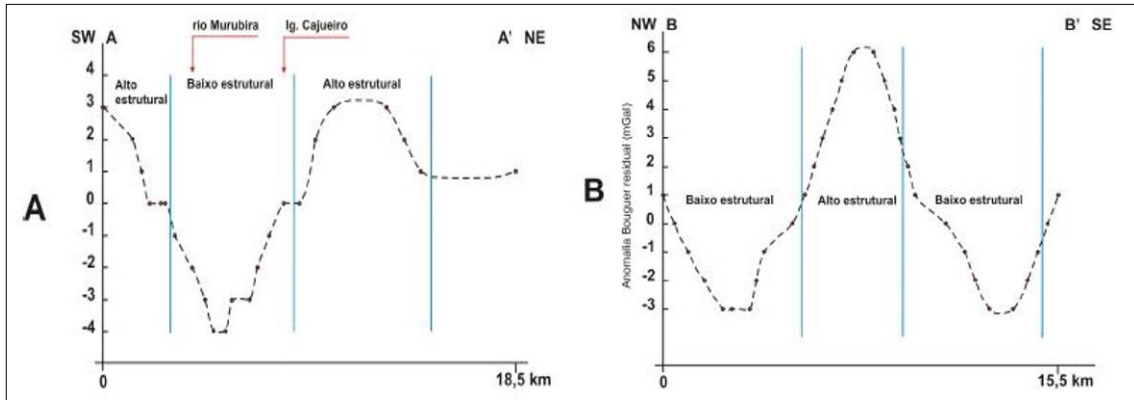


Figura 10 - Perfis Bouguer A-A' e B-B' (modificado de PALHETA, 2008).

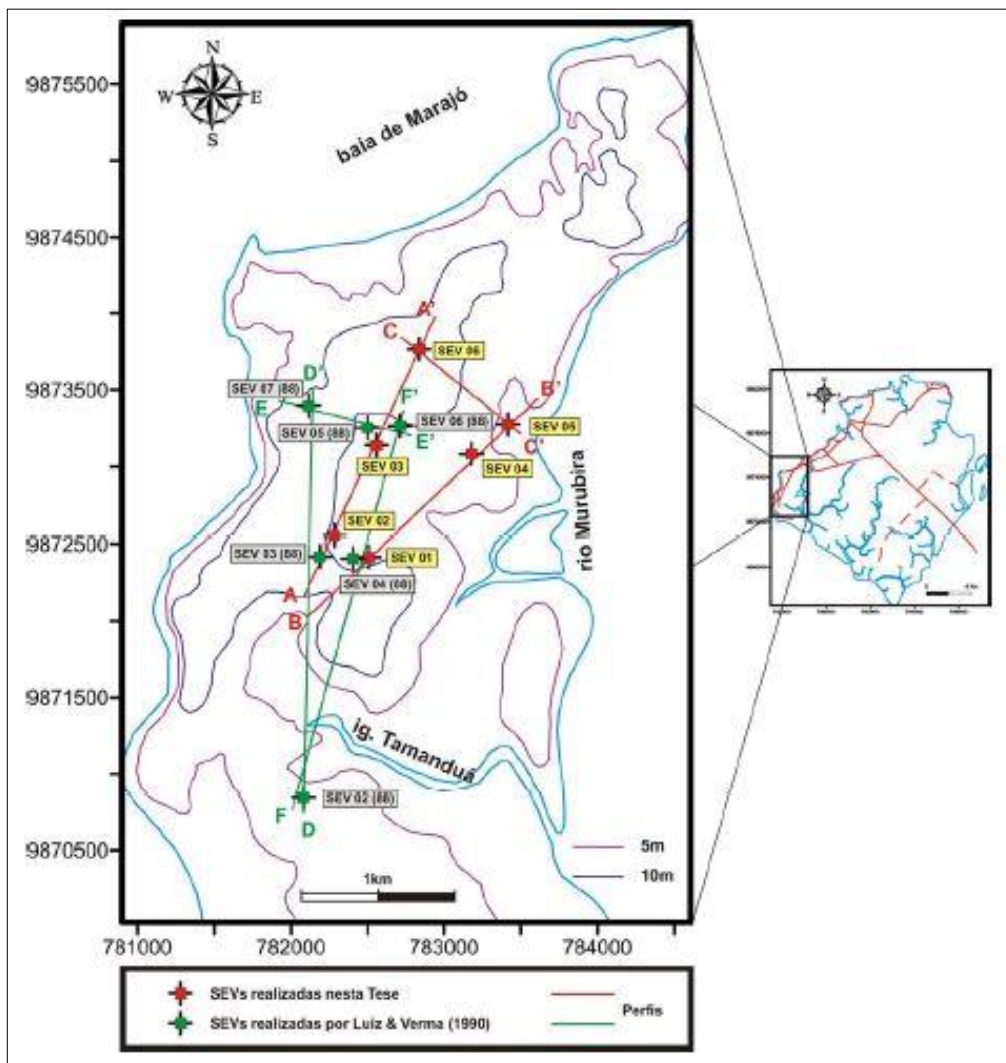


Figura 11 - Localização das SEVs (modificado de PALHETA, 2008).

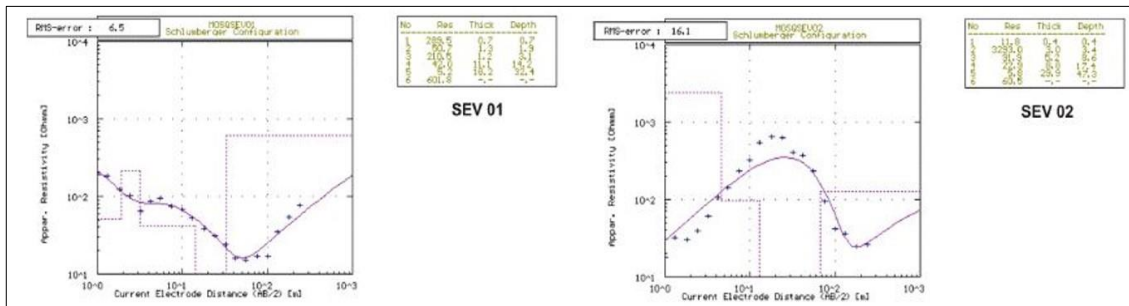


Figura 12 - Exemplos de SEVs (AB 500 m) (modificado de PALHETA, 2008).

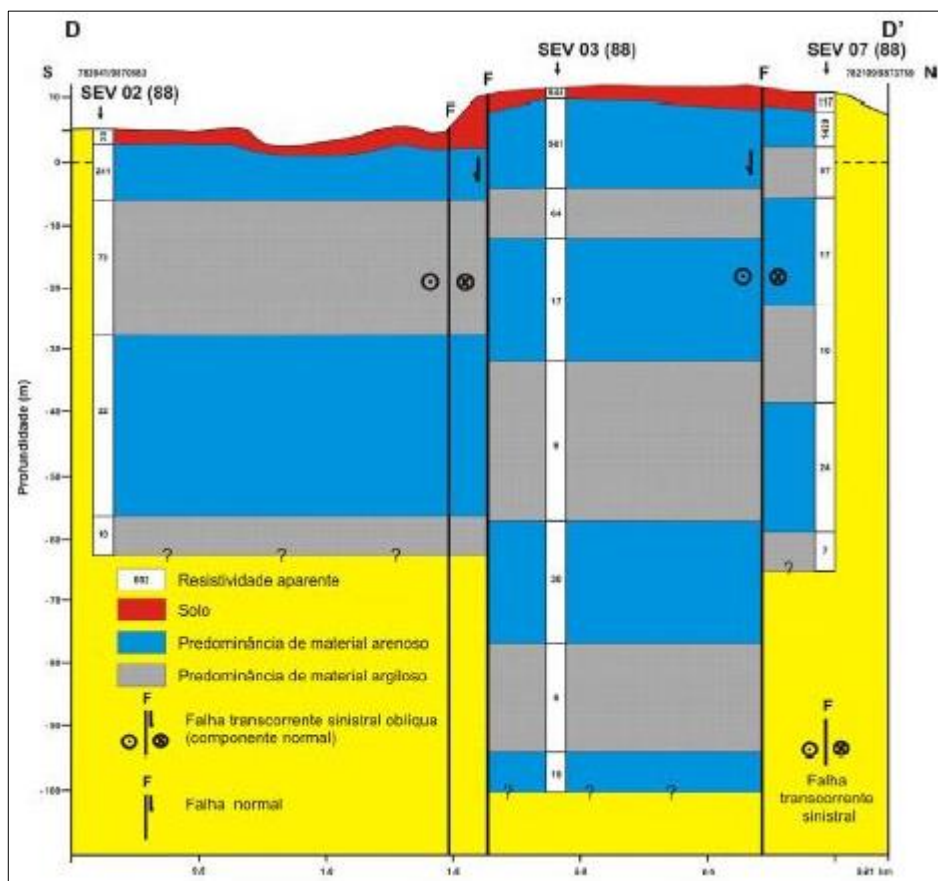


Figura 13 - Seção interpretada obtida da correlação entre SEVs (modificado de PALHETA, 2008).

Segundo Palheta (2008), na ilha predomina um terreno sedimentar de idade Neogênica, quase plano, que se assenta sobre o embasamento cristalino Pré-Cambriano, estruturalmente, compartimentado em 12 blocos tectônicos, que vistos tridimensionalmente compõem altos e baixos morfoestruturais (Figura 14), de tamanhos variados, limitados por descontinuidades representadas por falhas transcorrentes e normais, muitas vezes, em padrões lístricos, desnivelados em escala métrica a decamétrica.

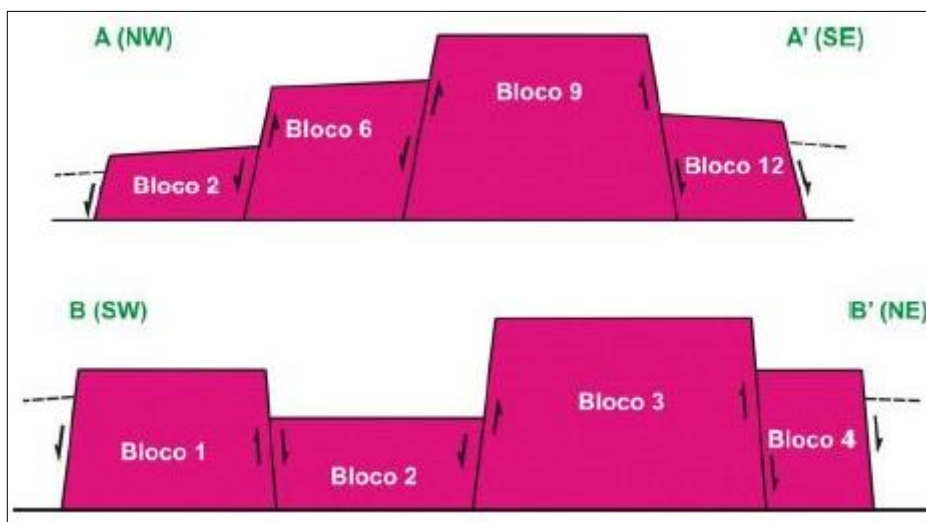


Figura 14 - Modelos de blocos soerguidos e rebaixados definidos a partir dos modelos de dados gravimétricos (modificado de PALHETA, 2008).

Segundo Palheta (2008), o modelo de configuração da ilha é de blocos seccionados, principalmente por falhas transcorrentes sinistras NW-SE e normais NE-SW, formando um conjunto *en échelon*. A integração de dados geológico/estruturais e geofísicos indica que ocorre controle estrutural no sistema hidrogeológico da Ilha de Mosqueiro, que possui áreas abatidas e soerguidas tanto em seu contexto regional como local. As zonas de abertura, onde esforços transtativos induzem a formação e/ou reativação de estruturas rúpteis, de direção, principalmente, NE-SW, são áreas importantes de recarga dos aquíferos rasos, intermediários e profundos. É possível que a mistura de águas dos aquíferos mais profundos com as dos aquíferos subjacentes seja a mais pronunciada nas áreas de recarga mais abatidas de segmentos NE-SW.

- **OLIVEIRA; SILVA (2011):** Projeto desenvolvido pela CPRM, englobando a Região Metropolitana de Belém, que envolveu a compilação e integração de todas as informações geológicas, geoquímicas, geofísicas e de recursos minerais disponíveis na região. Além disso, a base de dados foi complementada com a interpretação de sensores remotos, aquisição sistemática de dados de campo, análises laboratoriais químicas e ensaios tecnológicos.

O levantamento gravimétrico (Figura 15) permitiu a elaboração do Mapa Bouguer (Figura 16) e de um perfil no sentido SW-NE da folha (Figura 17) e consequente definição da conformação do embasamento cristalino (Figura 18).

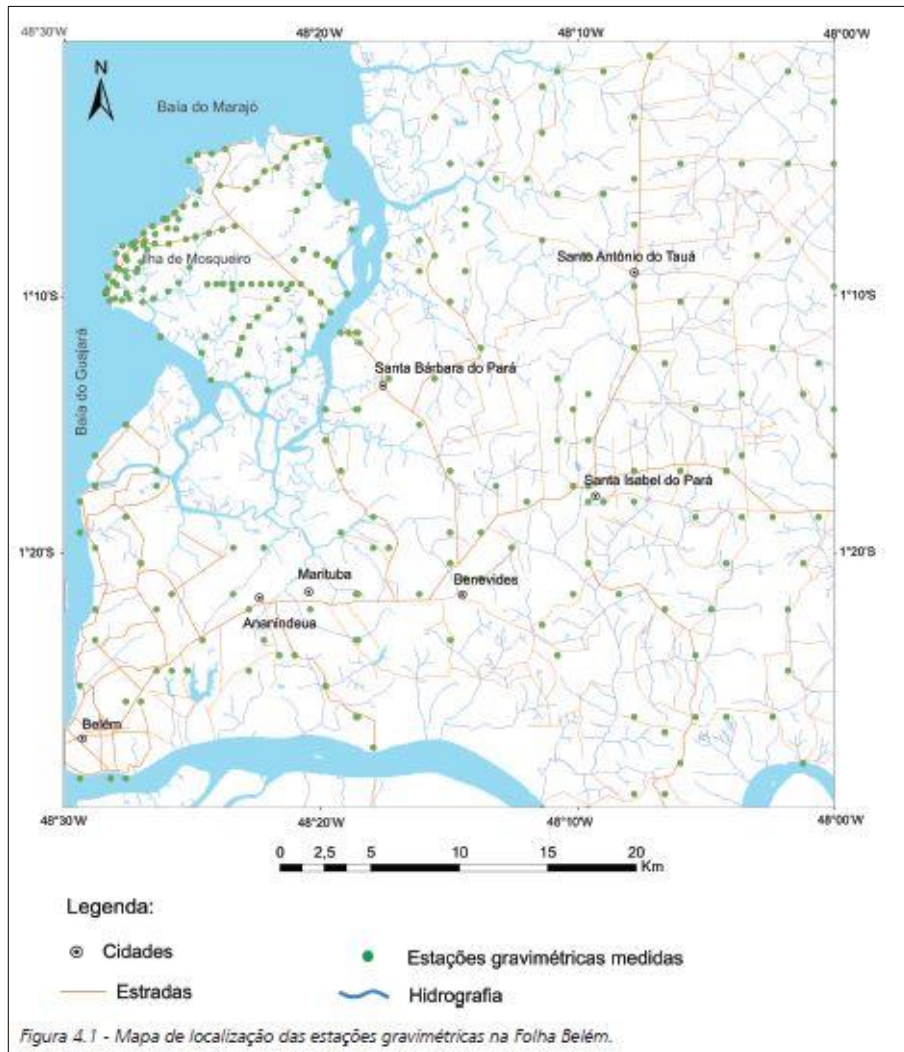
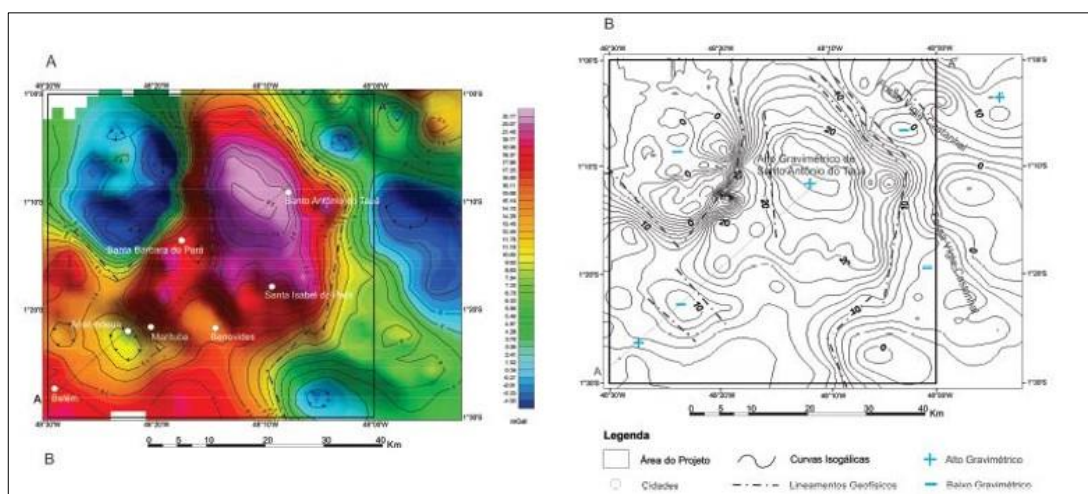


Figura 15 - Localização das estações gravimétricas na Região Metropolitana de Belém (modificado de OLIVEIRA; SILVA, 2011).





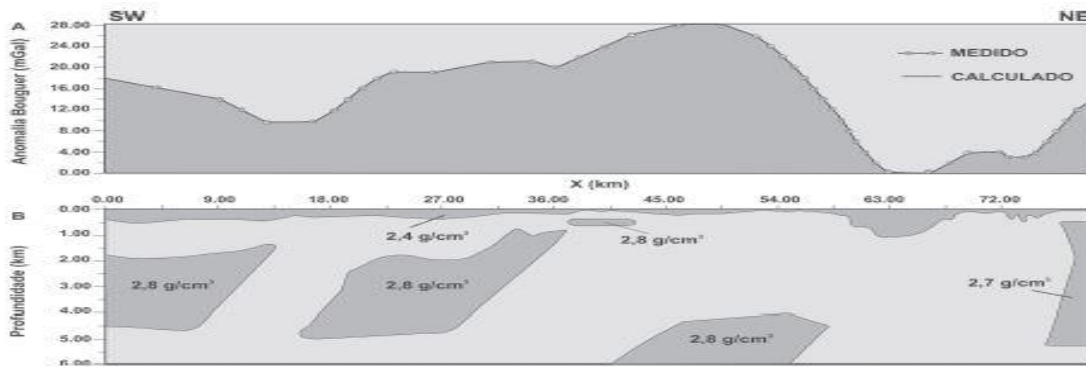


Figura 17 - Perfil gravimétrico regional SW-NE e modelo geofísico de distribuição de massas (modificado de OLIVEIRA; SILVA, 2011).

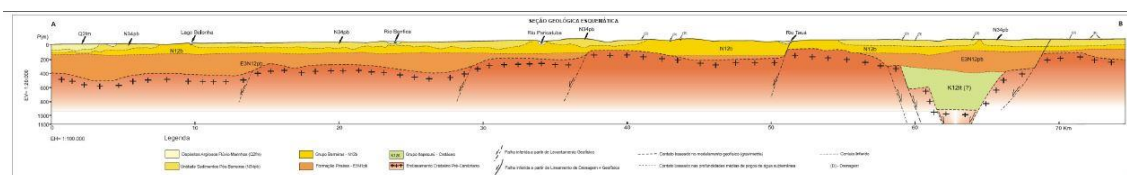


Figura 18 - Modelo gravimétrico regional SW-NE, interpretado a partir da correlação com a geologia da região (modificado de OLIVEIRA; SILVA, 2011).

Foi confirmada a existência da Fossa Vigia-Castanhal, com profundidade estimada em 1.100 metros, bem como a espessura do pacote sedimentar para a região de Belém, estabelecida em torno de 400 a 500 metros. As medidas de gravimetria foram complementadas com os dados obtidos por Palheta (2008), na ilha de Mosqueiro. Ao todo, foram realizadas medidas em 201 estações e a estas foram acrescentadas mais 124 medidas coletadas na ilha de Mosqueiro pelo autor.

### 3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

No período entre os dias 01 de março e 07 de abril de 2017, como parte da programação das investigações previstas neste estudo, foram realizadas 40 sondagens elétricas verticais nos municípios de Belém/PA, Ananindeua, Marituba, Benevides, Santa Bárbara e Santa Izabel do Pará.

Neste documento a metodologia geofísica empregada é descrita, juntamente com as especificações técnicas do levantamento, e os resultados obtidos na investigação geofísica são apresentados na forma de mapas e seções geofísicas obtidas a partir da integração e correlação de todas as informações empregadas.

Os dados obtidos de estudos anteriores, que contam com a aplicação de métodos geofísicos, foram integrados a este estudo. Assim, foram somadas às quarenta (40) sondagens elétricas verticais executadas para este projeto as informações de vinte e cinco (25) sondagens elétricas verticais e quarenta e um (41) poços com perfilagens geofísicas apresentadas em Mendes (2000) e os dados gravimétricos de Oliveira & Silva (2011). Além disso, foram também integradas à geofísica as informações de quarenta e quatro (44) poços tubulares profundos existentes na área de estudo (Figura 1).

#### 3.1 METODOLOGIA E ESPECIFICAÇÕES

##### 3.1.1 *Fundamentação Teórica do Método Eletroresistividade*

Esse método caracteriza-se por medir a variação da resistividade elétrica das rochas em subsuperfície, usando um sistema de quatro eletrodos AMNB ligados ao terreno (Figura 19). Os eletrodos A e B constituem o denominado circuito de corrente, enquanto os eletrodos M e N compõem o circuito de potencial. O primeiro transmite corrente elétrica (amperímetro) para o interior da Terra, e o segundo mede a diferença de potencial elétrico  $\Delta V$  (voltímetro) entre os outros dois eletrodos. Quando o terreno não é homogêneo e isótropo considera-se que o valor medido para cada posição dos eletrodos corresponde a uma resistividade elétrica aparente  $\rho_a$ , que reflete a contribuição de diferentes resistividades elétricas das rochas em profundidade, sob a zona central do arranjo dos eletrodos.

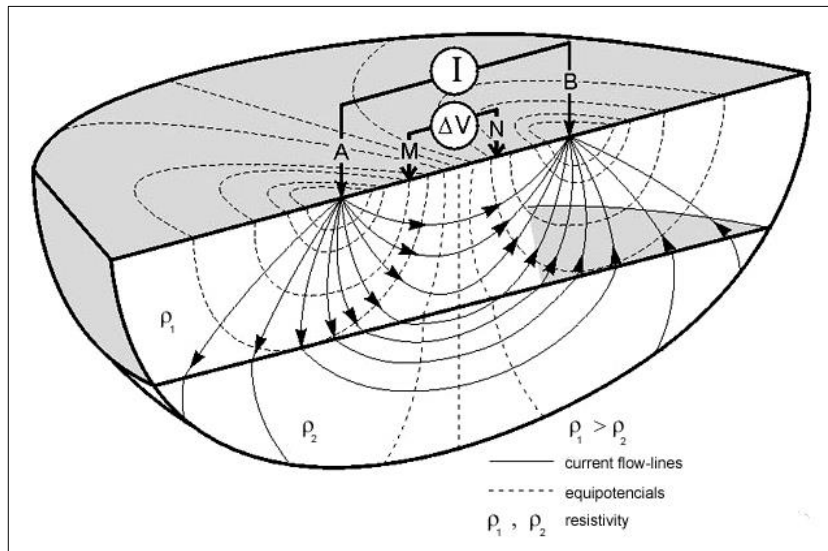


Figura 19 - Esquema do método eletroresistividade – 04 eletrodos AMNB.

A resistividade elétrica é obtida através da relação  $\rho = K * \Delta V / I$ , onde:

$\rho$  = resistividade elétrica do terreno;

$K$  = constante geométrica que depende da geometria do arranjo entre os eletrodos e da distância entre os mesmos;

$\Delta V$  = diferença de potencial entre M e N medida no circuito de potencial e

$I$  = corrente elétrica transmitida para o interior da Terra, medida no circuito de corrente.

### 3.1.1.1 Técnicas de Medição da Resistividade Elétrica

As técnicas de medição da variação de resistividade em subsuperfície podem ser 1D, 2D e 3D (Figura 20). A técnica 1D que mede a variação vertical de resistividade é denominada Sondagem Elétrica Vertical (SEV). A técnica 2D, denominada Imageamento Elétrico Bidimensional ou Caminhamento Elétrico Multiníveis, mede tanto a variação lateral quanto em profundidade da resistividade elétrica das rochas em subsuperfície. A técnica 3D mede a variação da resistividade em um volume de rocha e é denominada de Imageamento Elétrico Tridimensional. Em qualquer uma das técnicas, quanto maior a distância entre os eletrodos de corrente AB, maior o alcance em profundidade da medição efetuada.

### 3.1.1.2 Arranjos entre Eletrodos

A Figura 21 mostra diferentes arranjos entre eletrodos, que podem ser utilizados em trabalhos com eletroresistividade. Normalmente, é empregado o arranjo Schlumberger na execução de sondagens elétricas verticais.

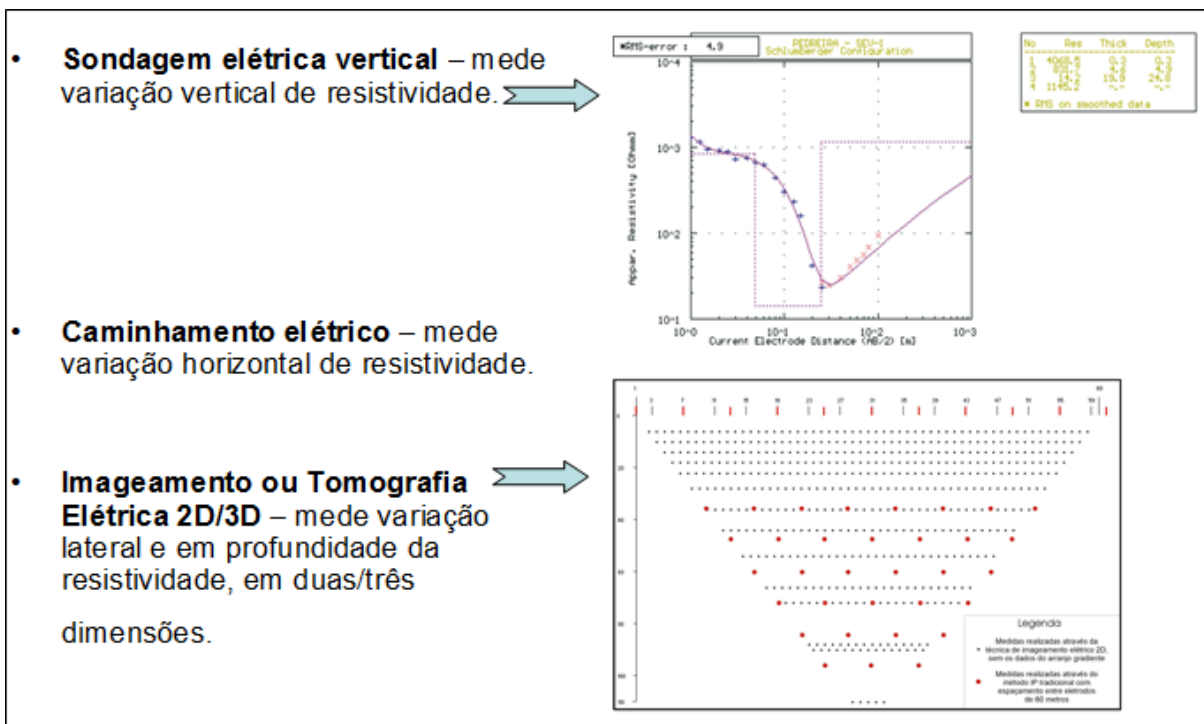


Figura 20 - Diferentes técnicas de aquisição de dados de eletrorresistividade.

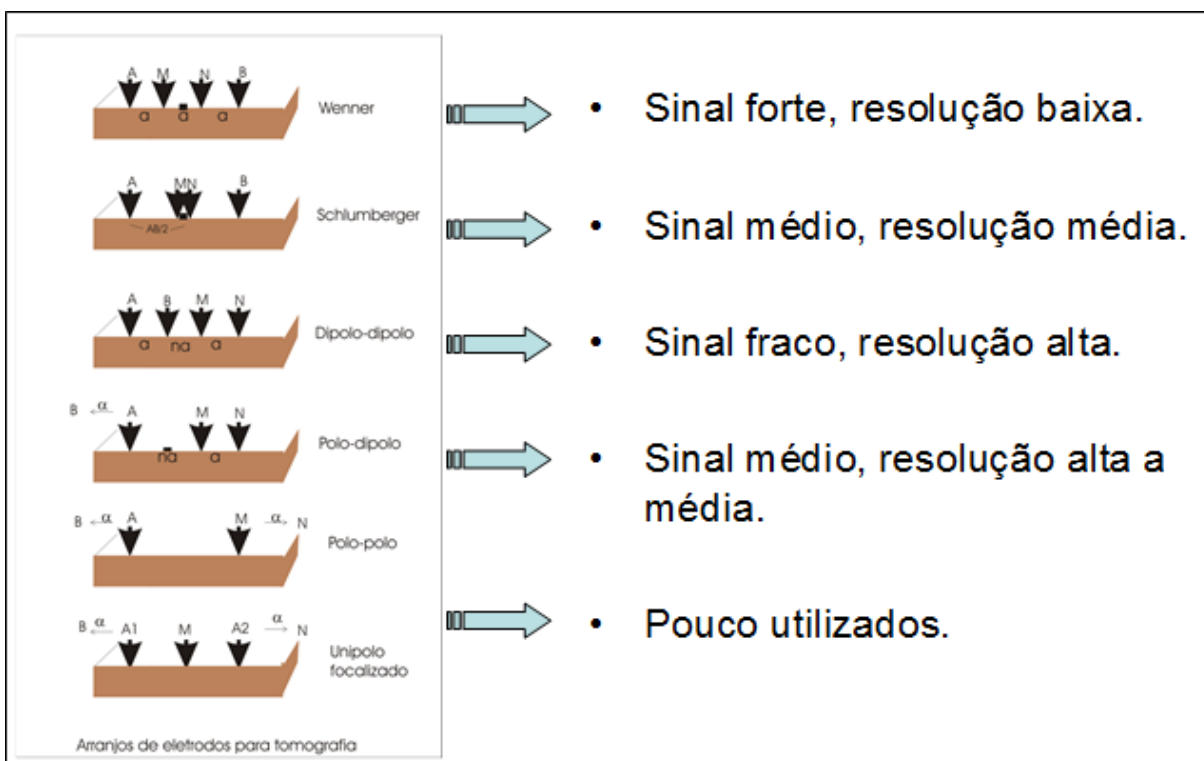


Figura 21 - Diferentes arranjos entre eletrodos utilizados para eletrorresistividade.

### 3.1.1.3 A Inversão dos Dados – Modelos 1D, 2D e 3D de Resistividades Verdadeiras

Os valores de resistividade aparente são transformados em resistividades verdadeiras através de *softwares* de inversão, que permitem obter-se modelos de resistividade e profundidade verdadeiras, apresentados em modelos 1D, seções 2D ou blocos 3D. Os modelos obtidos refletem a geologia de subsuperfície de modo mais preciso que as seções de resistividade aparente.

O controle de qualidade dos modelos é feito comparando-se os dados de resistividades aparentes calculadas para o modelo, com a seção de resistividades aparentes medidas no terreno. A Figura 22 mostra um exemplo de inversão 1D (técnica de SEV – Sondagem Elétrica Vertical), em que os pontos na curva correspondem aos valores de resistividade lidos e a curva contínua resultante das resistividades calculadas para o modelo formado pelas linhas retas azuis, representando as camadas com espessura e resistividade definidas para cada uma delas.

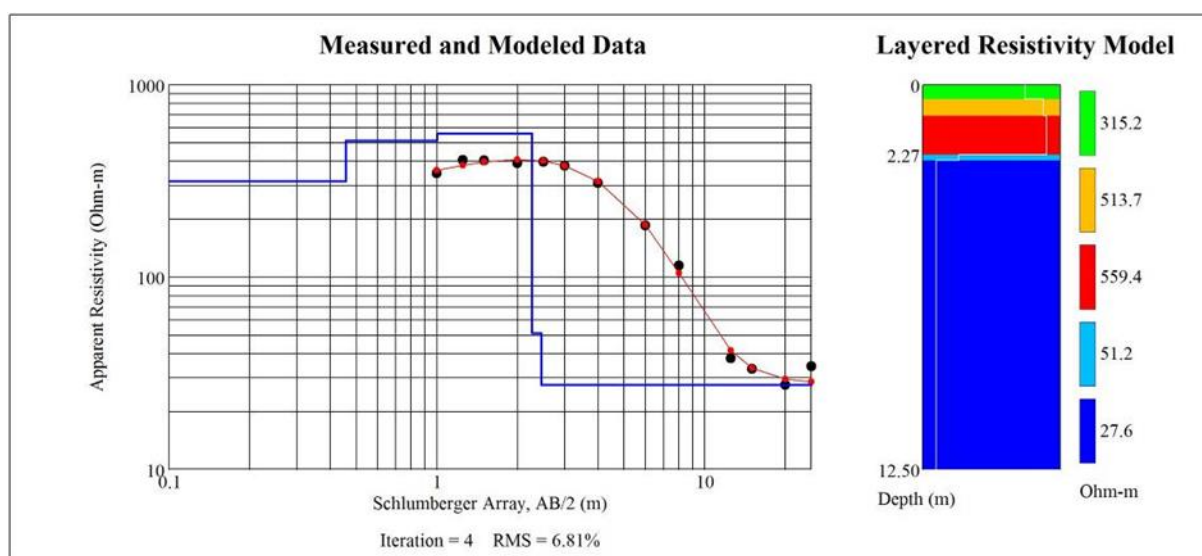


Figura 22 - Exemplo de Inversão 1D – Modelagem 1D feita através do *software* EarthImager, desenvolvido por AGI Advanced Geosciences Inc®.

A Figura 23 é um exemplo de inversão 2D (técnica IE2D – Imageamento Elétrico Bidimensional), em que a primeira seção corresponde às resistividades aparentes lidas, a segunda seção às resistividades calculadas e a terceira ao modelo de resistividades verdadeiras. O V em forma invertida nas resistividades aparentes medidas e calculadas corresponde a uma estrutura vertical quando é empregado o arranjo dipolo-dipolo na aquisição dos dados, enquanto no modelo de resistividades verdadeiras a forma da anomalia

reflete a forma da estrutura vertical como ela realmente é: no caso seria uma zona de falhas vertical.

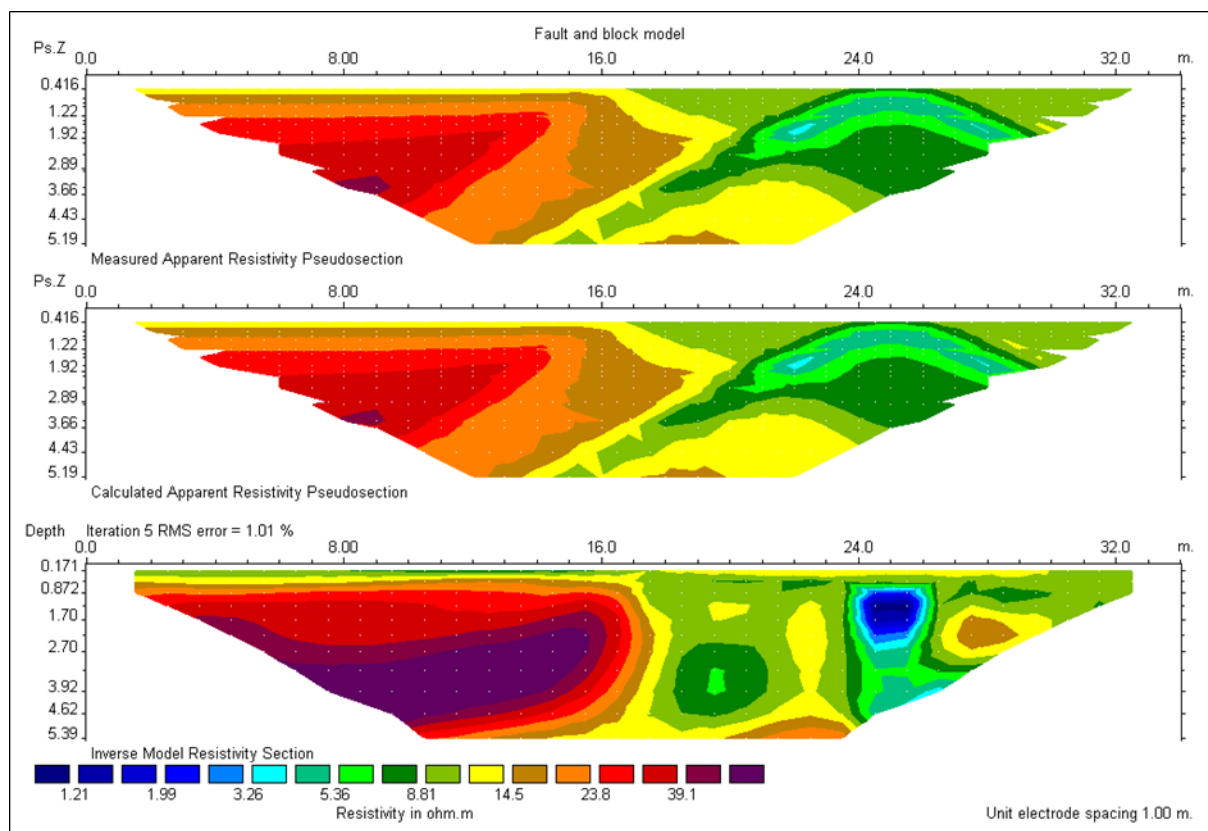


Figura 23 - Exemplo de inversão e modelagem IE2D (modificado de LOKE e BARKER, 1996).

#### 3.1.1.4 Uso do Método

O método Eletrorresistividade mede a variação da resistividade elétrica dos solos, sedimentos e rochas, e, a partir destas informações, permite prever a geologia em subsuperfície. A resistividade elétrica dos materiais rochosos depende, basicamente, de alguns parâmetros, tais como: porosidade, grau de saturação, resistividade da água subterrânea e fração argilosa.

O Quadro 1 indica as resistividades características de diferentes materiais. No caso de rochas sedimentares, as resistividades variam em função da porosidade e do grau de saturação da rocha, sendo que a resistividade da água preenchendo os poros é um fator importante no condicionamento da resistividade da rocha. Quando a fração argila aumenta nas rochas sedimentares, normalmente, a resistividade das mesmas diminui.

Quadro 1 - Resistividades características dos materiais.

Água ou rochas	Resistividade ( $\Omega.m$ )
Água do mar	0,2
Água de aquíferos aluviais	10-30
Água de fontes	50-100
Areias e cascalhos secos	1.000-10.000
Areias e cascalhos com água doce	50-500
Areias e cascalhos com água salgada	0,5-5
Argilas	2-20
Granitos alterados	100-1.000
Granitos sãos	1.000-10.000

## 3.2 ESPECIFICAÇÕES DO LEVANTAMENTO

### 3.2.1 Métodos e Equipamentos

O método Eletrorresistividade foi aplicado através da técnica Sondagem Elétrica Vertical (SEV), com distância AB máxima de 1.600 metros. Utilizaram-se parâmetros para investigar até profundidades da ordem de 300 metros. As correntes máximas transmitidas para os AB's maiores foram de 500 mA.

O equipamento utilizado foi um resistímetro modelo *SuperSting R8IP* (Figura 24, Figura 25 e Figura 26), fabricado pela *AGI Advanced Geosciences Inc.*, com capacidade de leituras simultâneas em 08 canais. A modelagem/inversão dos dados foi feita utilizando o *software EarthImager 1D*, desenvolvido pela *AGI Advanced Geosciences Inc.*



Figura 24 - Resistímetro com aquisição automática de dados.



Figura 25 - SEV-23 - SuperSting R8 IP (porta malas do carro) e carretéis dos fios de corrente.



Figura 26 - Execução da SEV-21.



## 4 RESULTADOS

### 4.1 LOCALIZAÇÃO DAS SEV'S

Na Figura 1 é apresentada a localização das SEV's e no Quadro 2 é apresentada a relação das mesmas, juntamente com as coordenadas UTM de cada uma delas (*Datum* SIRGAS 2000, zona 22S).

Além das SEV's novas, foram retrabalhadas as SEV's levantadas por Mendes (2000), cuja localização é também apresentada na Figura 1. Ao observar a relação entre as duas malhas verifica-se que elas se complementam. As SEV's atuais foram realizadas principalmente na região dos municípios adjacentes a Belém, enquanto que as SEV's de Mendes (2000) se concentraram no Município de Belém.

No sentido de padronizar os modelos obtidos, as SEV's de Mendes (2000) foram reprocessadas usando o mesmo *software* empregado na inversão das SEV's levantadas neste projeto. Além dos dados das SEV's de Mendes (2000), foram também disponibilizadas as informações dos perfis geofísicos executados, os quais foram integrados aos demais dados geofísicos, bem como na interpretação e delimitação final dos aquíferos.

Quadro 2 - Relação das SEV realizadas na área de estudo.

SEV	Data	Coordenadas UTM ( <i>Datum SIRGAS 2000</i> )	
		E	N
1	30/mar	792.992	9.873.966
2	29/mar	794.682	9.872.379
3	28/mar	796.217	9.870.987
4	28/mar	799.151	9.867.892
5	27/mar	801.639	9.866.223
6	23/mar	803.757	9.863.866
7	23/mar	804.703	9.860.414
8	22/mar	805.430	9.858.658
9	22/mar	806.348	9.856.646
10	03/mar e 21/mar	806.441	9.854.745
11	07/mar	807.116	9.852.209
12	16/mar	809.310	9.847.722
13	16/mar	812.014	9.846.531
14	17/mar	813.480	9.845.587
15	04/abr	784.869	9.839.238
16	01/abr	814.753	9.870.686
17	07/abr	815.414	9.838.962
18	06/mar	795.075	9.848.921
19	06/mar	798.758	9.848.800
20	04/mar	801.473	9.849.036
21	18/mar	805.312	9.851.608
22	07/mar	810.718	9.855.387
23	18/mar	812.673	9.857.607
24	11/mar	813.908	9.859.460
25	10/mar e 31/mar	816.815	9.861.405
26	11/mar e 31/mar	818.746	9.865.263
27	15/mar	813.519	9.867.554
28	15/mar	809.728	9.866.016
29	08/mar	821.485	9.858.545
30	09/mar	825.200	9.858.627
31	05/abr	788.867	9.839.893
32	20/mar	791.763	9.844.462
33	20/mar	793.494	9.845.807
34	06/abr	784.128	9.856.198
35	06/abr	799.370	9.840.880
36	24/mar	784.848	9.862.165
37	24/mar	782.338	9.860.420
38	25/mar	782.876	9.843.376
39	25/mar	782.680	9.841.524
40	03/abr	777.787	9.837.221

Da mesma forma que os dados disponibilizados por Mendes (2000), as informações de Oliveira e Silva (2011), relativas à gravimetria, também foram disponibilizadas e o banco de dados foi utilizado para gerar um novo mapa gravimétrico, o qual foi integrado às informações das SEV's para interpretação, principalmente, da estruturação regional da área investigada.

## **4.2 LEVANTAMENTO GEOFÍSICO**

### **4.2.1 SEV's Paramétricas – Correlação da Geofísica à Geologia**

Na Figura 27, Figura 28, Figura 29, Figura 30, Figura 31, Figura 32, Figura 33 são apresentadas as SEV's 06, 10, 11, 20, 21, 32 e 37. Os poços cujas informações foram utilizadas para a correlação com os resultados das SEV's, no geral, são rasos: quatro não ultrapassam 50 metros de profundidade e um apresenta profundidade da ordem de 100 metros. Apenas dois alcançam profundidade maior, em torno de 300 metros, similar à profundidade estimada de investigação das SEV's.

De qualquer modo, com base nas correlações feitas e nos resultados obtidos em trabalhos anteriores (MENDES, 2000; NASCIMENTO, 2003; PALHETA, 2008), a interpretação sugere que nas SEV's é possível identificar e estimar a profundidade do topo do Pirabas Superior e do topo do Pirabas Inferior. Dessa forma, as informações obtidas através das SEV's realizadas permitiram identificar e estimar as espessuras do Barreiras e da unidade Pirabas Superior, não sendo possível individualizar o Pós-Barreiras.

As três unidades (Barreiras, Pirabas Superior e Pirabas Inferior), do ponto de vista geoeletrico, apresentam curvas de variação da resistividade tipo H, com  $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$ , sendo que as resistividades da camada 1 (Barreiras) variam entre 400 ohm.m e 2.000 ohm.m, da camada 2 (Pirabas Superior) entre 5 ohm.m e 35 ohm.m, e da camada 3 (Pirabas Inferior) entre 60 ohm.m e 110 ohm.m.

## Correlação SEV 06 x Poço 6582 (Siagas)

### Feição Geomorfológica:

Descrição: Tabuleiro

### Formação Geológica:

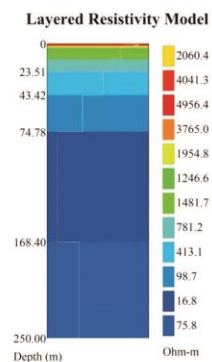
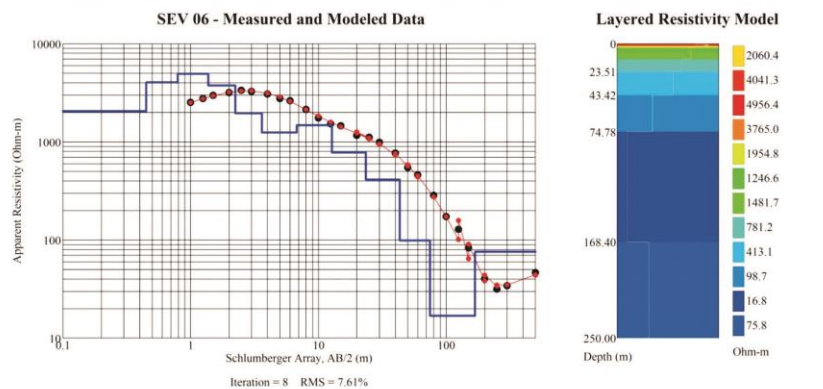
Profundidade Inicial (m): 0,00  
Profundidade Final (m): 48,00

### Tipo de Formação:

Formacao barreiras

### Dados Litológicos:

De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	0,5	Areia argilosa	Areia argilosa amarelo avermelhado.
0,5	6	Areia argilosa	Areia argilosa amarelo avermelhado.
6	20	Areia muito fina	Areia muito fina branco avermelhado.
20	47	Areia média	Areia média branca.
47	48	Areia argilosa	Areia argilosa am. areia



### Perfil Construtivo

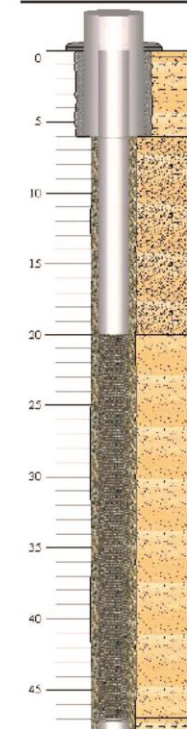


Figura 27 - Correlação do Poço SIAGAS 150006582 (Poço Estrela D'Alva) com a SEV-06.

## Correlação SEV 10 x Poço 7090 (Siagas)

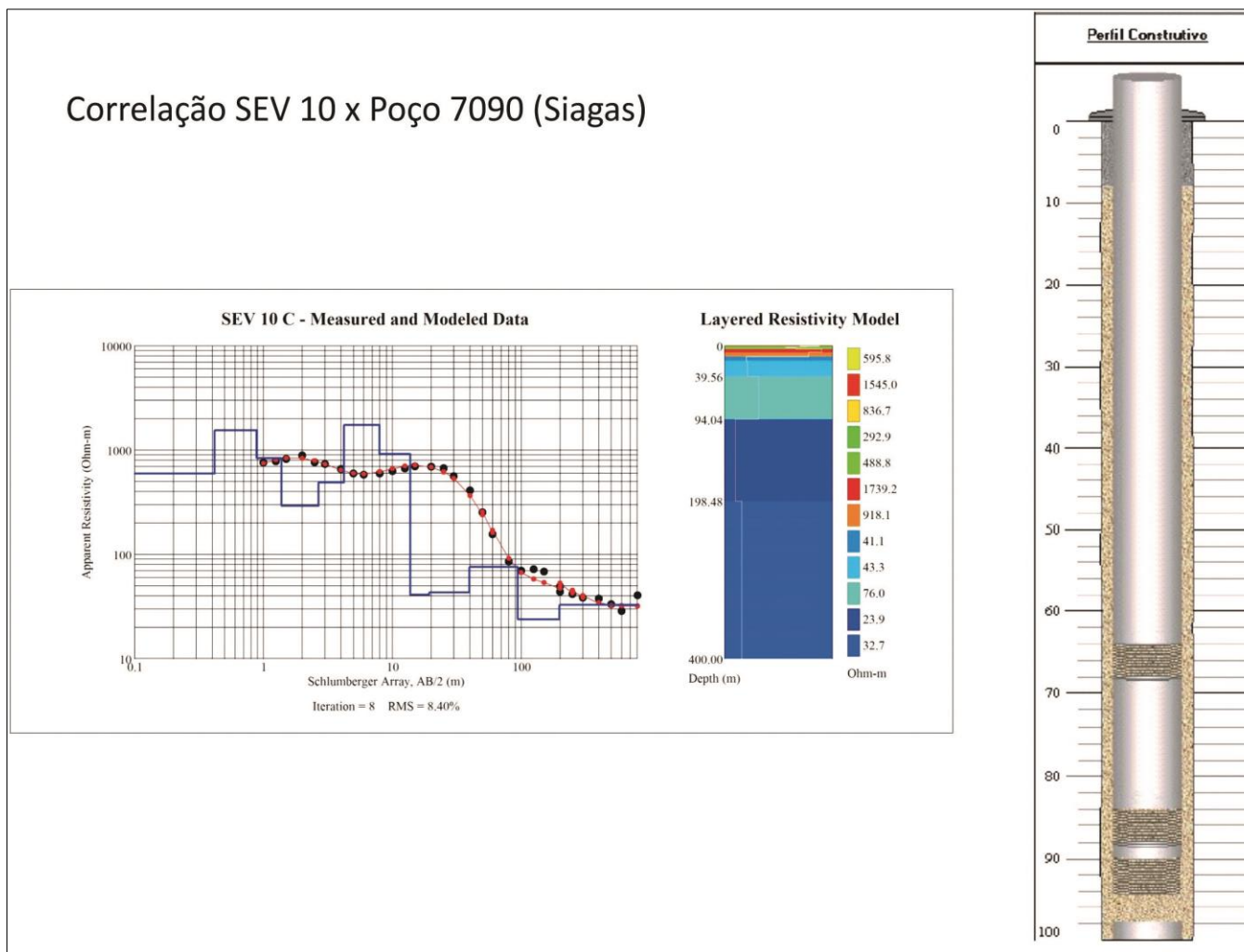


Figura 28 - Correlação do Poço SIAGAS 1500007090 (sem nome) com a SEV-10.

## Correlação SEV 11 x Poço 5738 (Siagas)

### Feição Geomorfológica:

Descrição: Tabuleiro

### Formação Geológica:

Profundidade Inicial (m): 0,00  
 Profundidade Final (m): 30,00

### Tipo de Formação:

Formacao barreiras

### Dados Litológicos:

De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	0.3	Solo areno-argiloso avermelhado	Solo areno-argiloso amareto avermelhado
0.3	6	Argila arenosa	Argila arenosa branco avermelhado
6	14	Areia média	Areia média branca
14	19	Areia argilosa	Areia argilosa branco avermelhado
19	29	Areia média	Areia média branca
29	30	Argila	Argila amareto esverdeado

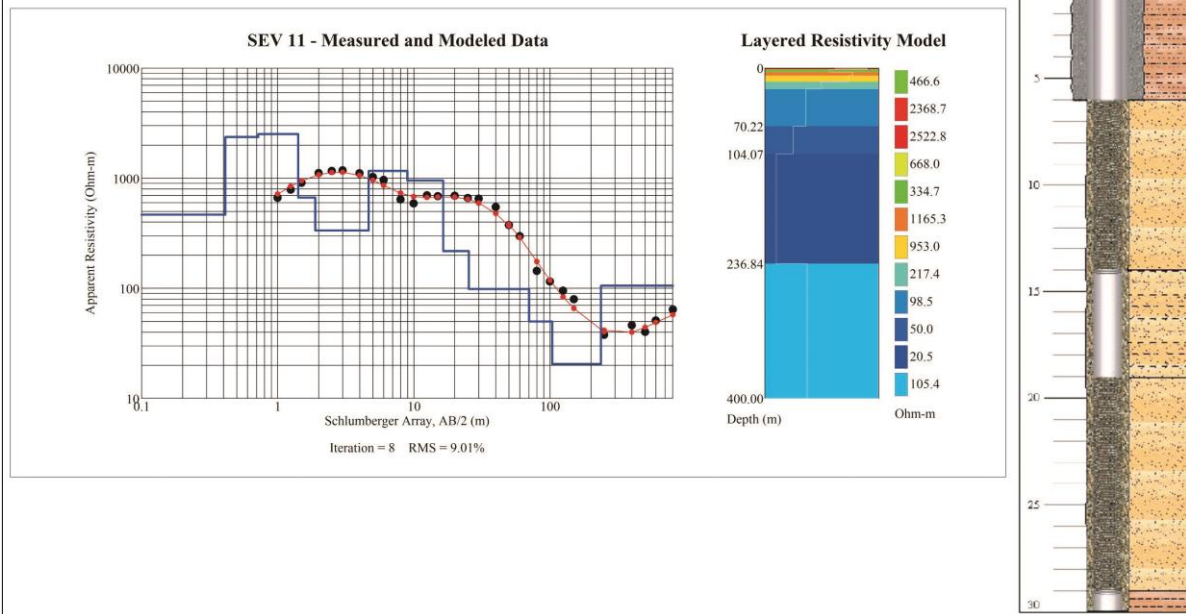


Figura 29 - Correlação do Poço SIAGAS 1500005738 (Poço Casa Branca Constr. Mineração) com a SEV-11.

## Correlação SEV 20 x Poço 1851 (Siagas)

**Feição Geomorfológica:**  
 Descrição: Tabuleiro

**Formação Geológica:**  
 Profundidade Inicial (m): 0,00    Profundidade Final (m): 45,00    Tipo de Formação: Formação barreiras

**Dados Litológicos:**

De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	3	Solo Laterítico	Solo Laterítico de cor amarelo amarronzado.
3	11	Argila arenosa	Argila arenosa de cor amarelo alaranjado.
11	12	Laterita	Laterita de cor amarela.
12	17	Areia argilosa	Areia argilosa de cor amarela.
17	29	Areia argilosa	Areia argilosa de cor amarelo amarronzado.
29	37	Areia fina	Areia fina de cor amarelo avermelhado.
37	40	Argila	Argila de cor cinza amarronzado.
40	45	Areia grossa	Areia grossa de cor amarelo alaranjado.

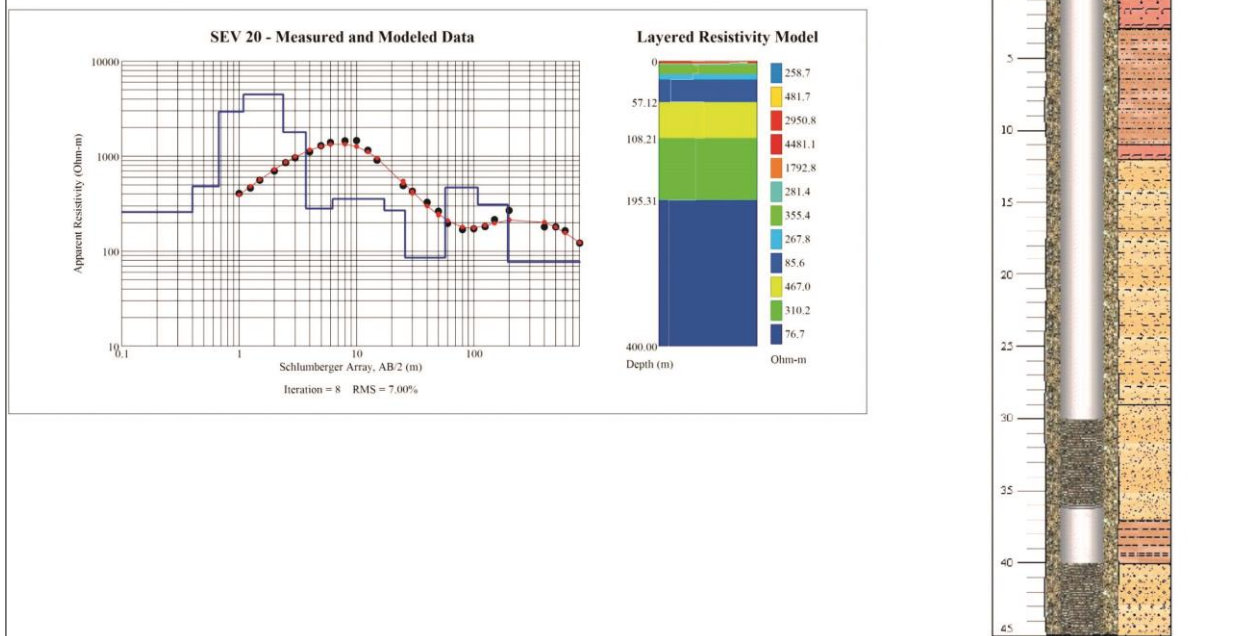


Figura 30 - Correlação do Poço SIAGAS 150001851 (sem nome) com a SEV-20.

## Correlação SEV 21 x Poço 4625 (Siagas)

Dados Litológicos:			
De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	11	Solo areno-argiloso	solo arenoso de coloração amrela avremelhada com argilosidade incipiente.
11	74	Argila	variações na energia do meio deposicional, retratado por ocorrência de material argiloso predominantemente.
74	130	Material orgânico	meio deposicional de baixíssima energia representado localmente por uma camada de folhelho escuro rico em m
130	302	Arenito argiloso	caracterizado pela presença de arenitos, friáveis grosseiros, de boa porosidade que é interrompido por camada e

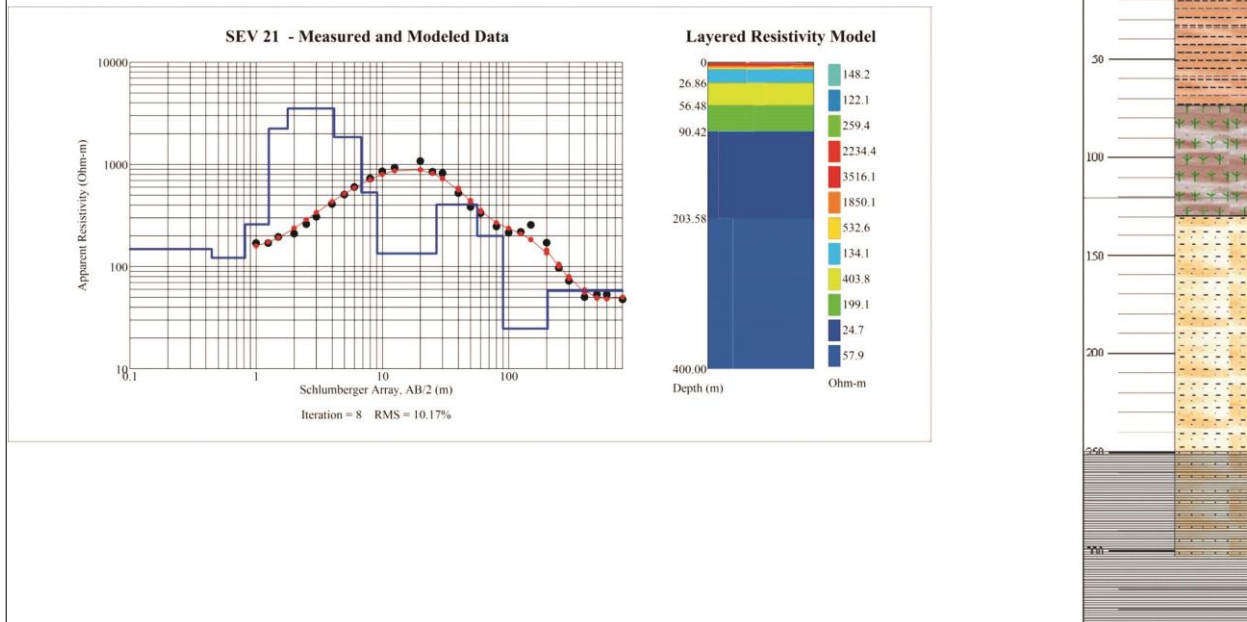


Figura 31 - Correlação do Poço SIAGAS 1500004625 (sem nome) com a SEV-21.



## Correlação SEV 32 x Poço 5776 (Siagas)

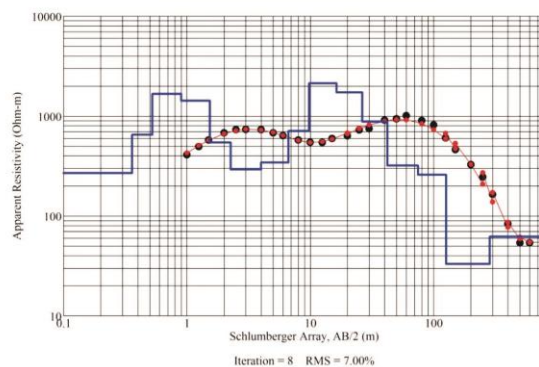
### Formação Geológica:

Profundidade Inicial (m):	Profundidade Final (m):	Tipo de Formação:
0.00	30.00	Formacao barreiras

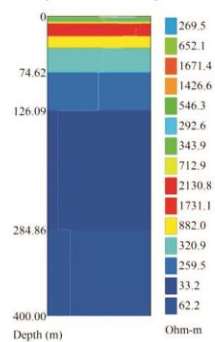
### Dados Litológicos:

De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	0.5	Solo arenoso	Solo arenoso amarela
0.5	6	Argila arenosa	Argila arenosa amarela
6	8	Areia fina	Areia fina amarelo avermelhado c/conc.lateriticas.
8	19	Argila	Argila amarela
19	28	Areia média	Areia média branca
28	30	Argila	Argila branco amarronzado

SEV 32 - Measured and Modeled Data



Layered Resistivity Model



Perfil Construtivo

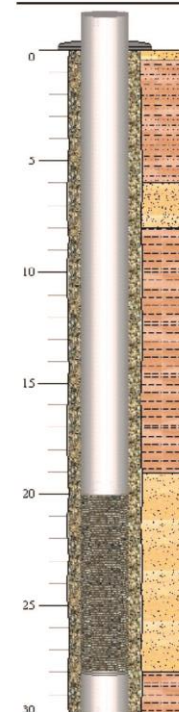


Figura 32 - Correlação do Poço SIAGAS 150005776 (Poço Plamax) com a SEV-32.

## Correlação SEV 37 x Poços 3837 e 1997 (Siagas)

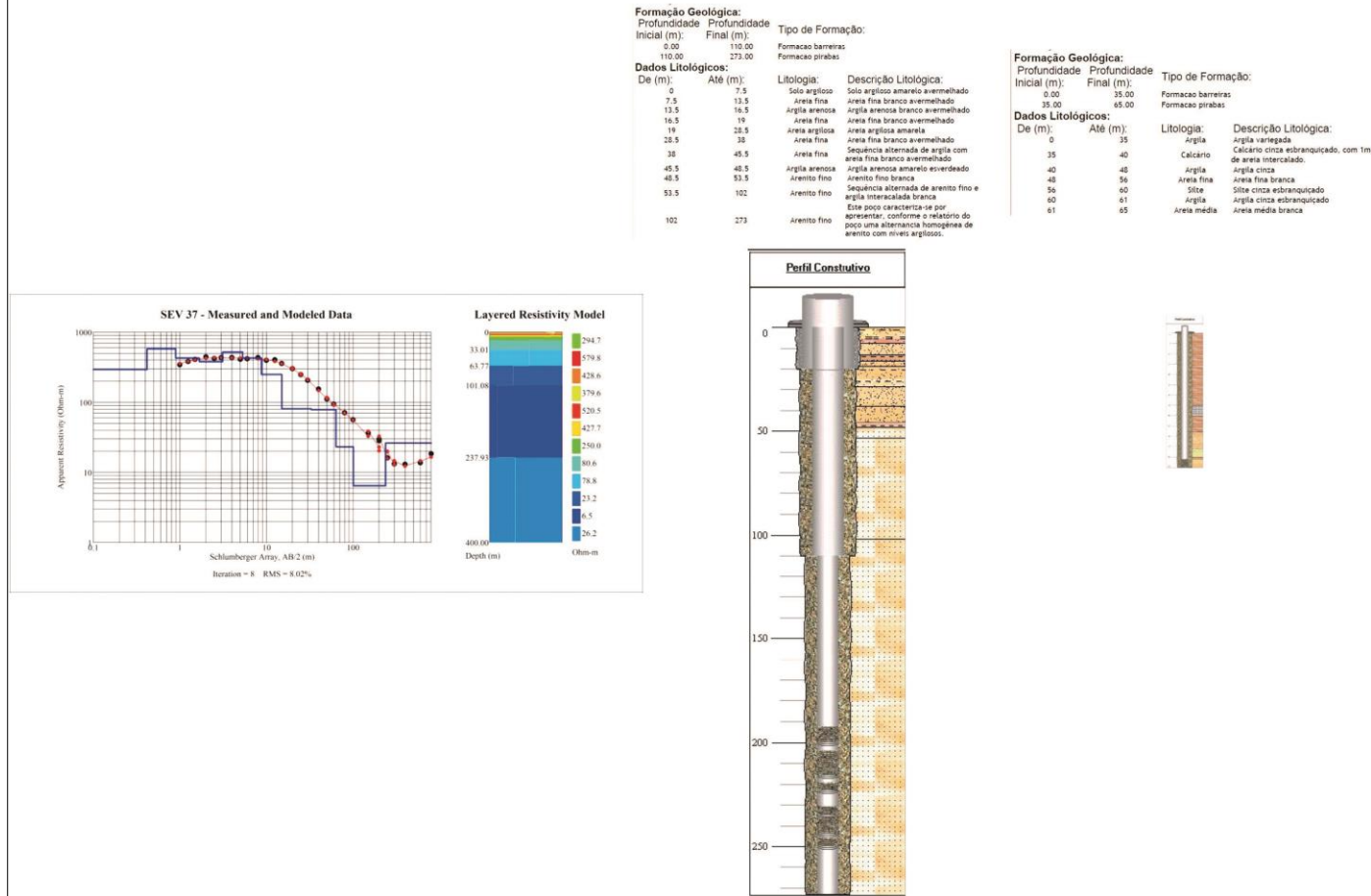


Figura 33 - Correlação dos Poços SIAGAS 1500003837 (Outeiro-Poço/02) e 1500001997 (Poço Colégio Agrícola) com a SEV-37.

#### 4.2.2 SEV's Realizadas no Projeto – Processamento e Interpretação

Os gráficos das SEV's levantadas no Projeto, com os resultados da inversão e do modelo obtido são apresentados no ANEXO I.

As resistividades médias do Barreiras, Pirabas Superior e Pirabas Inferior observadas nas SEV's não paramétricas são, respectivamente, 404 ohm.m, 27 ohm.m e 241 ohm.m, com as duas primeiras dentro da faixa definida nas SEV's paramétricas, e a terceira com valor um pouco acima do limite máximo verificado nestas últimas. No Quadro 3 são apresentadas as resistividades mínima, máxima, média e o desvio padrão das resistividades de cada uma das unidades delimitadas.

Quadro 3 – Valores de resistividade mínima, máxima, média e desvio padrão para cada unidade aquífera.

Unidade Aquífera	Resistividade Mínima	Resistividade Máxima	Resistividade Média	Desvio Padrão
Barreiras	30	1.000	404	263
Pirabas Superior	6	85	27	20
Pirabas Inferior	26	2.800	241	545

No interior do Barreiras as resistividades variam bastante, revelando que essa unidade se caracteriza por uma intensa intercalação de sedimentos arenosos e argilosos, com predomínio dos primeiros.

No Pirabas Superior as resistividades são mais homogêneas e muito baixas, indicando que nessa unidade há um predomínio de sedimentos mais argilosos na intercalação com os arenosos. Essa característica torna esse pacote sedimentar, no seu conjunto, menos interessante do ponto de vista do aproveitamento das águas subterrâneas, embora possam ocorrer no seu interior níveis arenosos pouco espessos com alta porosidade e permeabilidade.

No Pirabas Inferior as resistividades variam bastante e são menos precisas, pois são definidas, muitas vezes, por um número menor de leituras, feitas no final das SEV's, nos AB's maiores, onde também o sinal lido é mais fraco.

O resultado da modelagem permitiu identificar e estimar a profundidade do nível freático no local de cada SEV, como será apresentado mais adiante. A resistividade média observada nas quarenta (40) SEV's para a zona saturada, ou seja, abaixo do nível freático, foi de 700 ohm.m.

De um modo geral, as SEV's realizadas mostraram um padrão bem definido de altas resistividades para o Barreiras, baixas para o Pirabas Superior e altas para o Pirabas Inferior, conforme verificado na correlação geológico-geofísica, apresentada anteriormente. Algumas SEV's, no entanto, possuem resposta distinta do padrão geral. Algumas iniciam com baixas resistividades desde uma profundidade muito pequena, sugerindo que o Barreiras ou tem uma espessura muito pequena, ou ocorre com uma variação de fácies, tornando-se muito mais argiloso do que o normal na região. Esse é o caso das SEV's 31 e 35, que se encontram em uma área de cota muito baixa, bem próximas à margem do Rio Guamá (Figura 34). A SEV 31 está situada à jusante do Açude Água Preta.



Figura 34 - Localização das SEV's 31 e 35.

#### 4.2.3 Reprocessamento das SEV's levantadas por Mendes (2000)

A maior parte das SEV's levantadas neste projeto está localizada nos municípios adjacentes à cidade de Belém. Por outro lado, a grande maioria das SEV's levantadas por Mendes (2000) está localizada na cidade de Belém. A disponibilização dos dados pelo autor viabilizou a integração das informações coletadas no ano 2000 aos novos dados de SEV's obtidos neste estudo, em 2017. Os dados de Mendes (2000) foram reprocessados utilizando o mesmo *software* EarthImager 1D®, visando obter uma padronização dos resultados obtidos com as deste estudo.

As vinte e cinco (25) SEV's disponibilizadas por Mendes (2000) foram colocadas no formato de arquivos de entrada do *software* de inversão *EarthImager 1D*®, desenvolvido por AGI Advanced Geosciences Inc., que foi usado na inversão das SEV's realizadas neste estudo, e foram gerados os modelos 1D usando os mesmos parâmetros de inversão usados para estas últimas.

Embora no detalhe possam ocorrer diferenças nos modelos obtidos por Mendes (2000) e no processamento atual, considera-se que, na essência, a interpretação de Mendes (2000), que identifica dois grandes sistemas aquíferos, sendo um até cerca de 160 metros de profundidade e o outro a partir dessa profundidade, mantendo-se como uma referência para este estudo, já que no levantamento atual foi possível identificar o limite entre o Pirabas Superior e o Inferior na mesma faixa de profundidade, ou seja, em torno de 160 metros. Os resultados da modelagem 1D são apresentados no ANEXO II.

Dentre as vinte e cinco SEV's disponibilizadas por Mendes (2000), dezesseis (16) forneceram informações até a base do Pirabas Superior e vinte e uma (21) até a base do Barreiras. Vinte e duas (22) SEV's permitiram estimar a profundidade do freático.

#### 4.2.4 Reprocessamento dos Perfis Geofísicos de Poços (MENDES, 2000)

Foram disponibilizados quarenta e duas (42) perfilagens geofísicas de poços, contendo, normalmente, métodos raios gama, resistividade e potencial espontâneo (SP). Na Figura 35 mostra uma perfilagem geofísica de poço do trabalho de Mendes (2000), no formato do *software* Wellcad®. Todos os perfis geofísicos dos poços disponibilizados estão no ANEXO III.

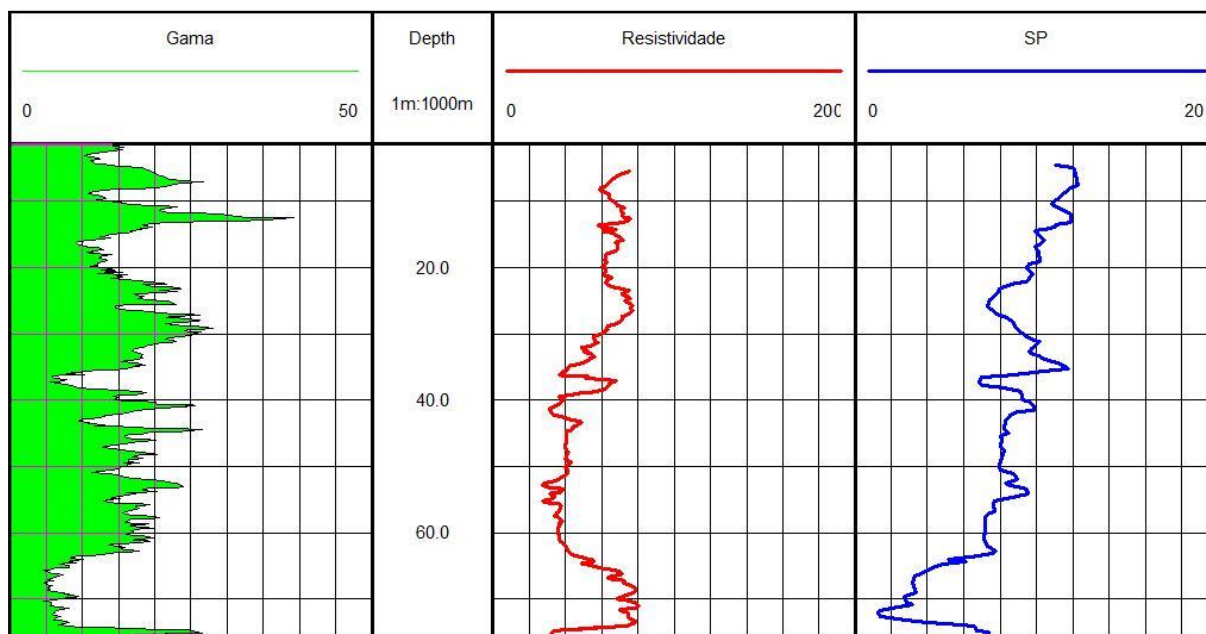


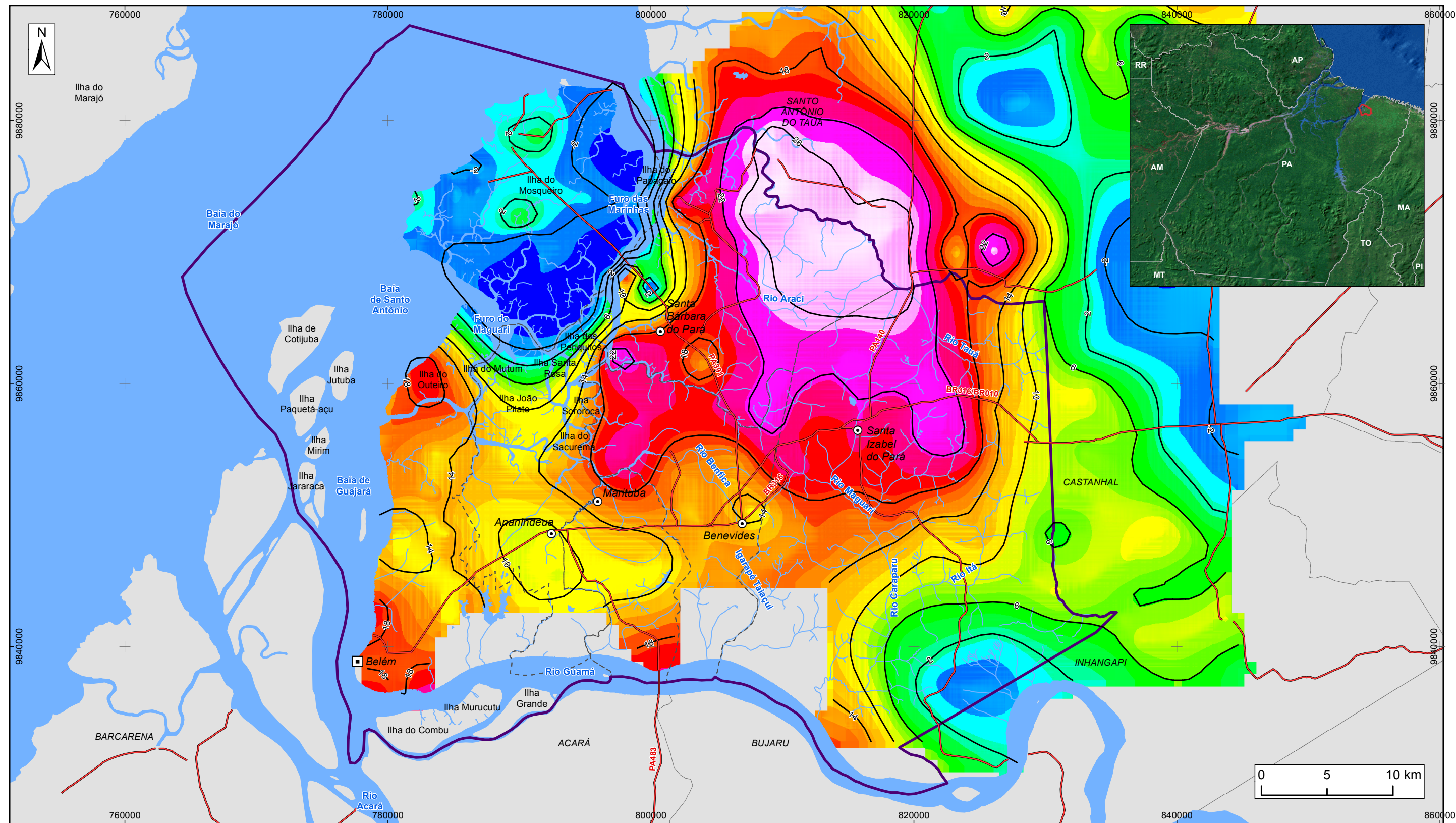
Figura 35 - Perfilagem geofísica do poço 25.

Dos 42 poços perfilados por Mendes (2000), vinte e três (23) forneceram informações que foram utilizadas e somadas às das SEV's realizadas. Dentre esses, 20 definiram a profundidade da base do Barreiras, dezessete (17) da base do Pirabas Superior e três (3) são da base do Pirabas Inferior. O critério de interpretação foi examinar os perfis gama e de resistividade, considerando que o contato do Barreiras com o Pirabas Superior é marcado por um aumento de gama e/ou uma redução da resistividade, enquanto no contato entre o Pirabas Superior e o Inferior ocorre o contrário. Os dezenove (19) poços perfilados que não foram utilizados ou eram muito rasos ou os contrastes gama e resistividade entre as unidades não eram bem definidos.

#### **4.2.5 Mapas Gravimétricos Reprocessados (OLIVEIRA e SILVA, 2011)**

A partir do banco de dados gravimétricos da CPRM (OLIVEIRA e SILVA, 2011) foram gerados os mapas Bouguer (Figura 36), Bouguer Regional (Figura 37) e o Residual com filtro gaussiano de 20 km (Figura 38). Além desses, foi gerado o Mapa Bouguer Regional com filtro gaussiano de 10 km (Figura 39). Esse último permitiu identificar com mais detalhes os distintos blocos gravimétricos.

Os blocos gravimétricos altos e baixos delimitados são interpretados como sendo provocados por altos e baixos do paleorelevo do embasamento cristalino da bacia e os seus limites podem estar relacionados com zonas de falhas separando blocos soerguidos e rebaixados do embasamento.



**LEGENDA**

Capital Estadual	<b>Bouguer (mGal)</b>	6,003	15,810
Sede Municipal	-5,069	7,063	17,080
Isolinhhas	-1,782	8,172	18,420
Hidrografia	-0,211	9,730	19,760
Rodovia	1,364	11,460	21,800
Massa d'água	2,910	13,210	24,690
Área de Estudo	4,626	14,530	28,390
Limite municipal			

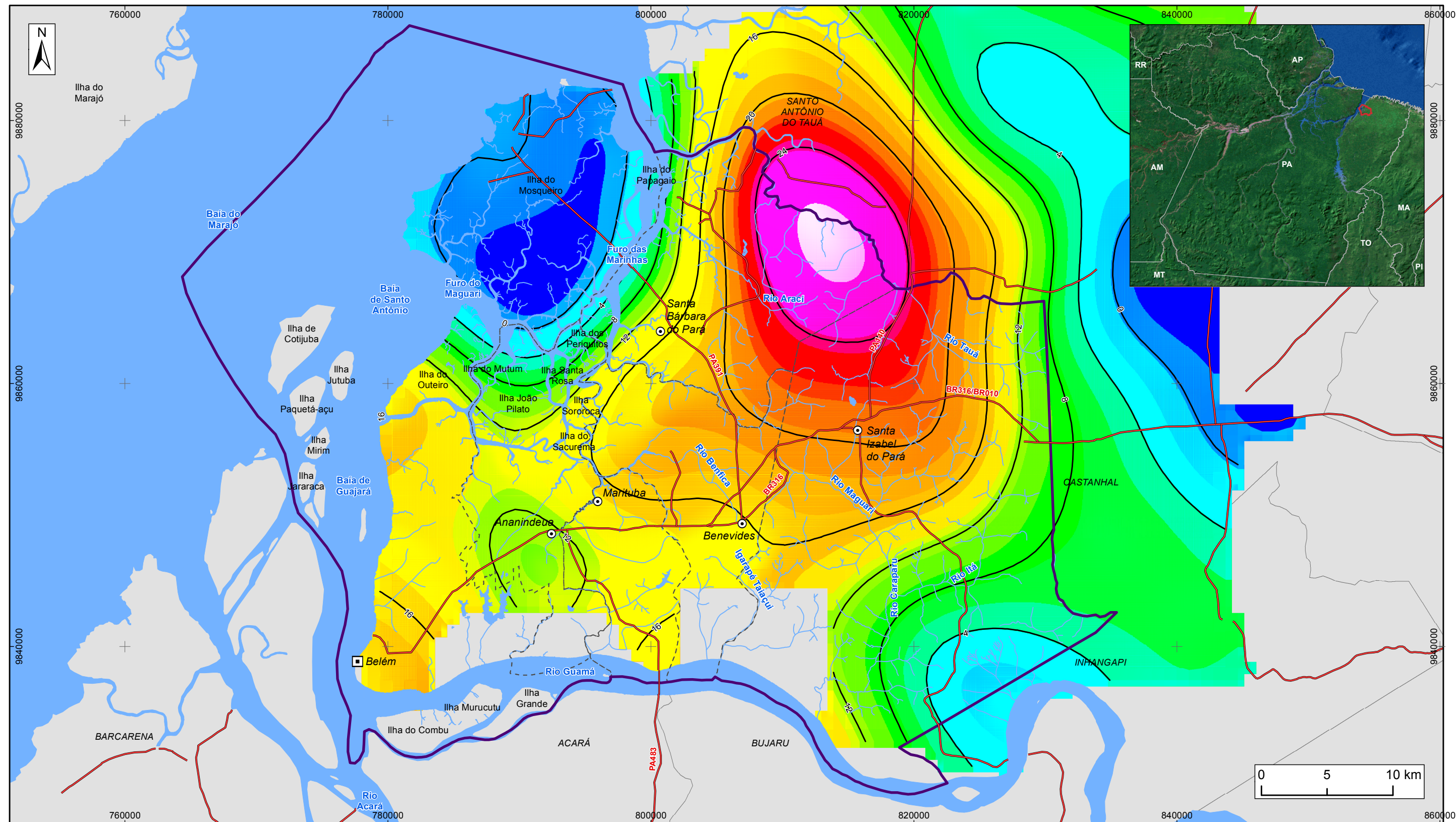
**Figura 36 - Mapa Bouguer gerado a partir dos dados gravimétricos da CPRM (OLIVEIRA & SILVA, 2011)**



**ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA**

Fonte: Rodovias: SEMA/PA. Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM  
Bouguer: Elaborado a partir de Oliveira e Silva (2011)

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_36_Mapa_Bouguer_A3
Escala:	1:290.000



**LEGENDA**

□ Capital Estadual	<b>Bouguer Regional (mGal)</b>	9,304	20,340
⊙ Sede Municipal	-1,579	11,240	21,500
— Isolinhas	0,2099	12,500	22,130
~ Hidrografia	1,999	13,180	23,500
— Rodovia	3,937	15,120	24,210
☁ Massa d'água	5,875	16,910	26,450
⊕ Área de Estudo	7,515	18,550	28,390
- - - Limite municipal			

**Figura 37 - Mapa Bouguer regional gerado a partir dos dados gravimétricos da CPRM (OLIVEIRA & SILVA, 2011)**

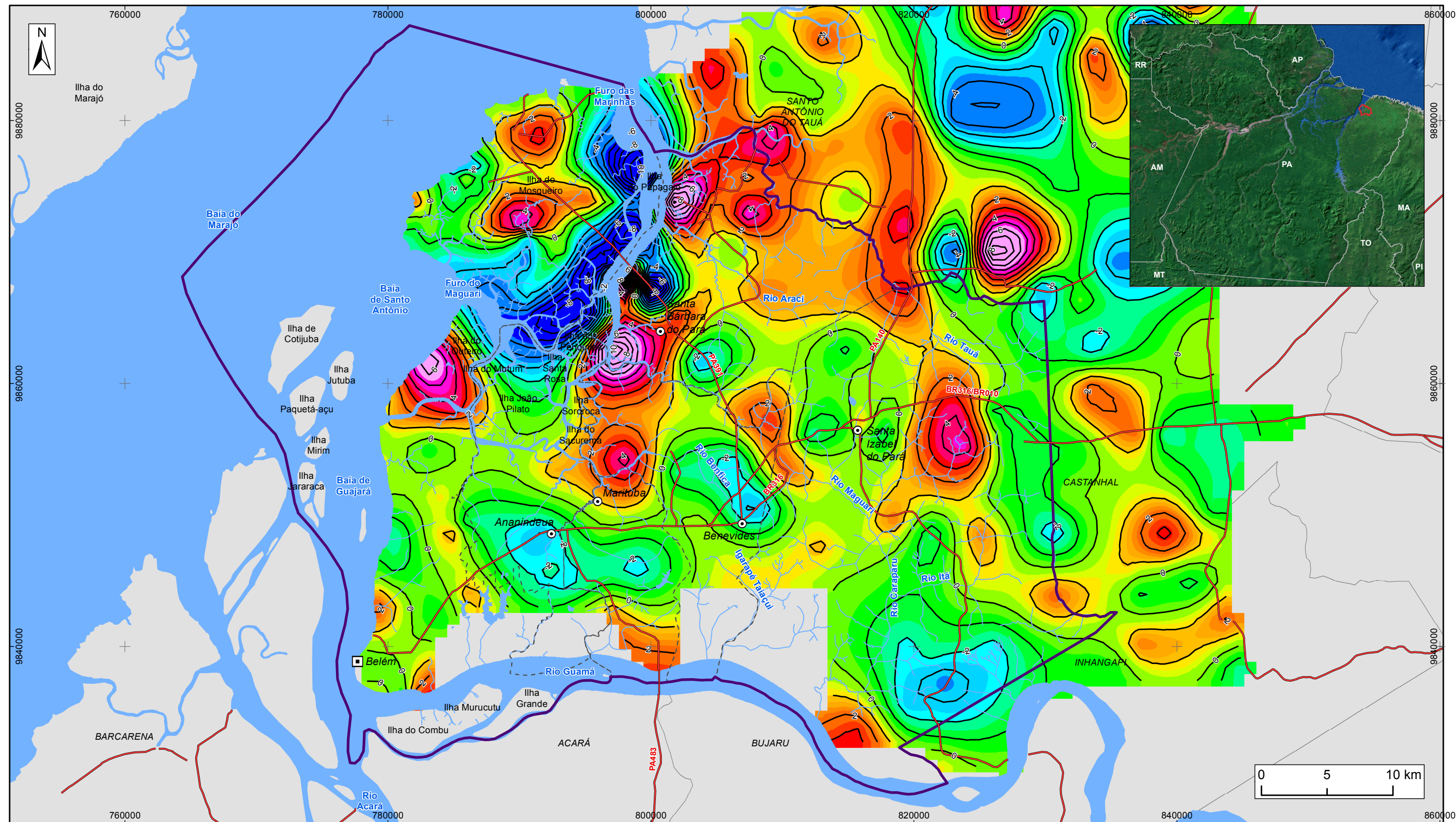


**ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA**

Fonte: Rodovias: SEMA/PA. Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM  
Bouguer: Elaborado a partir de Oliveira e Silva (2011)

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_37_Mapa_Bouguer_Regional_A3
Escala:	1:290.000





**LEGENDA**

Capital Estadual	<b>Bouguer residual (mGal)</b>	-0,5	1,75
Sede Municipal	-5,5	0,0	2,5
Isolinhas	-3,5	0,5	3,0
Hidrografia	-2,5	0,75	3,5
Rodovia	-2,2	1,0	4,5
Massa d'água	-1,5	1,25	5,5
Área de Estudo	-1,0	1,5	28,39
Limite municipal			

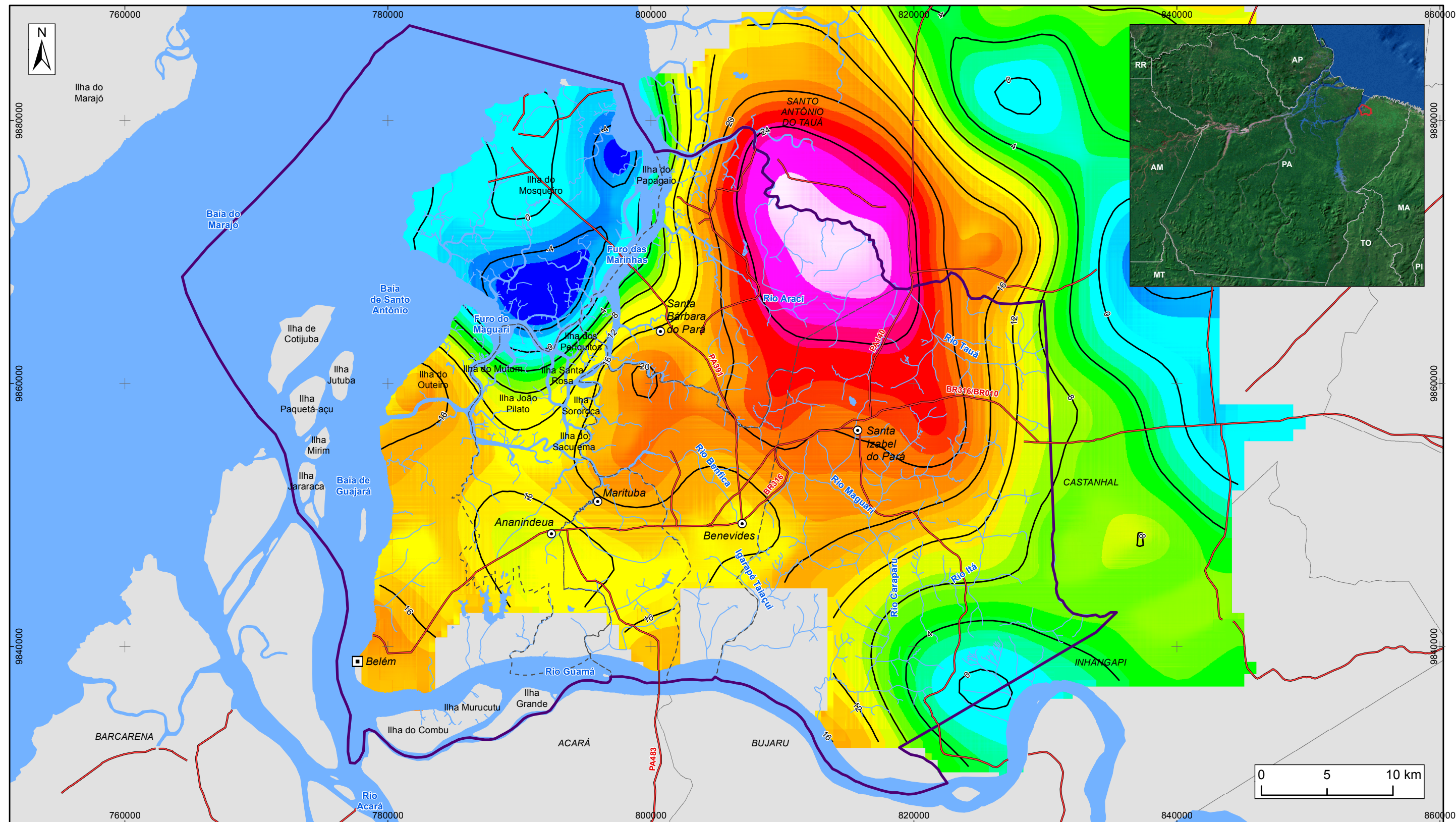
**Figura 38 - Mapa Bouguer Residual gerado a partir dos dados gravimétricos da CPRM (OLIVEIRA & SILVA, 2011)**



**ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA**

Fonte: Rodovias: SEMA/PA. Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM  
Bouguer: Elaborado a partir de Oliveira e Silva (2011)

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_38_Mapa_Bouguer_Residual_A3
Escala:	1:290.000



**LEGENDA**

<ul style="list-style-type: none"> <li>☐ Capital Estadual</li> <li>⊙ Sede Municipal</li> <li>— Isolinhas</li> <li>~ Hidrografia</li> <li>— Rodovia</li> <li>Massa d'água</li> <li>Área de Estudo</li> <li>--- Limite municipal</li> </ul>	<p><b>Bouguer regional - filtro de 10 km (mGal)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-5,0</li> <li>-3,0</li> <li>-1,0</li> <li>1,5</li> <li>3,0</li> <li>4,5</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>6,2</li> <li>7,5</li> <li>9,0</li> <li>11,0</li> <li>13,0</li> <li>15,0</li> <li>17,0</li> <li>19,0</li> <li>21,0</li> <li>22,0</li> <li>23,5</li> <li>25,0</li> <li>27,0</li> <li>27,9</li> </ul>
---	---	---

**Figura 39 - Mapa Bouguer regional com filtro gaussiano de 10 km gerado a partir dos dados gravimétricos da CPRM (OLIVEIRA & SILVA, 2011)**



**ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA**

Fonte: Rodovias: SEMA/PA. Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM  
Bouguer: Elaborado a partir de Oliveira e Silva (2011)

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_39_Mapa_Bouguer_filtro_10km_A3
Escala:	1:290.000

#### **4.2.6 Integração e Correlação das Informações Geofísicas com os Dados de Poços**

A análise dos dados geofísicos disponíveis, compostos pelas 40 SEV's realizadas no projeto, pelas 25 SEV's e os 23 perfis geofísicos de poços disponibilizados por Mendes (2000), além dos dados gravimétricos disponibilizados no relatório da CPRM (OLIVEIRA e SILVA, 2011), foi feita correlacionando as informações aos dados de 44 poços profundos do banco SIAGAS/CPRM, situados em locais próximos às informações geofísicas. O resultado da análise e da correlação dos dados é comentado a seguir.

##### **4.2.6.1 Análise dos Dados do Poço COSANPA SETOR 7 P3 e Correlação com Poços Localizados nas Proximidades**

A interpretação do perfil geofísico do poço COSANPA SETOR 7 P3 considerando, principalmente, a resistividade, indicou as seguintes profundidades para a base das unidades aquíferas:

- Base Pós-Barreiras = 27,5 m;
- Base Barreiras = 97,50 m;
- Base Pirabas Superior: três possibilidades (117,5 m, 132,5 m ou 177,5 m). A última profundidade está mais compatível com a interpretação dos poços 1500001960 e 1500001990, situados cerca de 200 metros de distância do poço da COSANPA);
- Base Pirabas Inferior = 251 m.

Os contatos definidos na descrição litológica dos poços 1500001960 e 1500001990 foram, respectivamente, 84 m para a base do Barreiras e 190 m para a base do Pirabas Superior; 90 m para a base do Barreiras e 165 m para a base do Pirabas Superior.

O poço da COSANPA SETOR 7 P3 está situado cerca de 700 m a sudoeste da SEV-15, que tem definição para a base do Barreiras em 57 m e para a base do Pirabas Superior a 239 m. Também está situado cerca de 500 m a NW do perfil geofísico 36 (MENDES, 2000), cuja base do Barreiras foi interpretada em 88 m e a base do Pirabas Superior em 116 m. Considerando-se a distância entre as informações, os valores definidos seriam admissíveis.

#### **4.2.6.2 Análise da Correlação entre Poços e as Informações Geofísicas**

O Quadro 4 apresenta as informações compiladas dos poços cadastrados no SIAGAS utilizadas para a correlação geofísica. Estão relacionadas as profundidades dos contatos entre as formações Barreiras e Pirabas (topo do Pirabas Superior) e os contatos entre a Formação Pirabas Inferior e a sedimentação Pré-Pirabas. Como os perfis litológicos não informam a cota da boca do poço este dado foi obtido a partir do modelo digital do terreno (MDT). A distribuição espacial desses poços é apresentada na Figura 1.

Quadro 4 - Informações dos poços utilizados para a correlação geofísica.

ID SIAGAS	Coordenadas UTM		Profundidade (m)	Cota Terreno (MDT) (m)	Topo Pirabas Superior	Topo Pirabas Inferior	Topo Pré-Pirabas
	UTM N	UTM E					
1500000895	9.852.211	780.256	370	8	85	160	203
1500000896	9.838.237	781.512	268	8	94	202	-
1500000899	9.838.252	781.590	271	11	80	146	-
1500001058	9.848.305	795.640	255	12	70	148	230
1500001077	9.850.600	782.160	101	16	84	-	-
1500001081	9.839.042	780.802	128	26	79	-	-
1500001101	9.845.240	787.157	393	23	66	169	259
1500001114	9.845.540	779.360	105	10	92	179	-
1500001161	9.856.564	814.711	260	37	80	160	-
1500001947	9.850.880	782.145	258	15	70	174	
1500001951	9.838.997	784.471	105	4	58	89	
1500001956	9.844.039	781.303	260	5	90	203	
1500001962	9.839.006	784.453	310	4	84	190	278
1500001990	9.845.550	779.350	110	10	78	-	
1500001991	9.838.995	784.471	240	4	90	165	
1500002018	9.856.252	780.735	267	17	72	132	
1500002021	9.848.700	796.130	200	19	77	181	
1500002039	9.842.640	783.660	169	19	70	145	
1500002052	9.845.660	783.540	287,5	29	96	184	
1500002062	9.842.560	783.560	149	22	70	-	
1500002079	9.842.122	783.110	270	17	63	202	
1500002098	9.838.252	781.620	77	11	60	-	
1500002099	9.838.222	780.383	79,5	5	-	-	
1500002171	9.849.250	783.130	271,5	16	90	213	
1500004032	9.856.416	780.186	278	12	80	179	

ID SIAGAS	Coordenadas UTM		Profundidade (m)	Cota Terreno (MDT) (m)	Topo Pirabas Superior	Topo Pirabas Inferior	Topo Pré-Pirabas
	UTM N	UTM E					
1500004500	9.848.528	799.388	274	30	97	165	268
1500004625	9.851.441	805.393	338	21	98	154	278
1500004658	9.875.559	784.535	280	18	84	162	264
1500004723	9.851.683	780.491	90	10	-	-	
1500004754	9.852.513	780.151	120	5	85	-	
1500004755	9.852.483	780.120	148	5	91	-	
1500005105	9.853.005	780.028	110	16	73	-	
1500005164	9.875.498	784.659	274	5	82	158	-
1500005376	9.842.092	783.110	188	19	65	138	
1500005518	9.850.913	782.222	273	14	-	-	
1500005519	9.850.606	782.129	270	14	86	186	186,2
1500005703	9.858.196	783.312	120	7	81	-	
1500006111	9.846.518	782.125	65	16	65	-	
1500006137	9.850.667	782.098	270,56	14	58	162	
1500006520	9.845.776	786.578	120	21	73	-	
1500007056	9.845.123	792.949	100	24	-	-	
1500007090	9.854.145	806694	100	30	-	-	
1500007183	9.844.030	781.039	130	7	120	-	
1500007184	9.843.968	781.256	135	5	118	-	
1500007254	9.838.867	780.632	100	4	76	-	
1500007489	9.838.773	782.240	153	6	100	-	
1500007636	9.858.257	783.312	100	7	59	-	
1500007824	9.852.544	780.244	74	8	72	-	
1500007902	9.858.511	805.585	100	20	96	-	
1500008208	9.848.901	795.799	100	19	60	-	

#### 4.2.6.3 Correlação das SEV's Atuais com a Geologia

A seguir são apresentadas as correlações realizadas entre as SEVs disponíveis e alguns poços cadastrados no SIAGAS.

- **SEV08 x Poço 1500007900** (distantes 150 m entre si): possível verificar a profundidade do topo do Pirabas Superior (base do Barreiras). Na SEV-08 foi definida em 82 m e na interpretação geológica do poço ficou em 96 m;
- **SEV10 x Poço 1500007090**: contato indefinido no poço. Na SEV o contato do Barreiras com o Pirabas Superior ficou em 94 m;
- **Poços 1500005738 e 1500006582** (48 m e 30 m de profundidade, respectivamente): esses poços, situados próximos das SEV-11 e SEV-06, respectivamente, são muito rasos e não forneceram informações do contato Barreiras/Pirabas Superior;
- **SEV18 x Poço 1500008210** (distantes 750 m entre si): nesse poço o topo do Pirabas Superior encontra-se a 60 m de profundidade e na SEV-18 a 54 m, mostrando boa correlação;
- **SEV21 x Poço 1500004625** (poço da Schincariol com 338 m de profundidade): no poço os contatos não são bem definidos, contendo, na descrição folhelhos escuros entre 74 m e 130 m (podem estar relacionados ao Pirabas Superior) e arenitos de 130 m a 338 m (podem estar relacionados ao Pirabas Inferior). Os filtros foram colocados entre 248 m e 338 m. Na SEV-21 o topo do Pirabas Superior foi definido em 90 m e do Pirabas Inferior em 203 m. É provável que o resultado da SEV esteja mais compatível com o topo do Pirabas Inferior do que a descrição litológica, tendo em vista a profundidade de colocação dos filtros;
- **Poço 1500002629**: localizado próximo da SEV-25, tem apenas 16 m de profundidade;
- **Poço 1500007060**: contatos não definidos;

- **Poço 1500005776:** localizado próximo da SEV-32, é raso, com apenas 30 m de profundidade e não forneceu informação dos contatos entre as unidades;
- **Poço 1500002100:** localiza-se a 2.600 m para leste da SEV-40 e a 4.600 m para oeste da SEV-15. O poço foi a 79 m de profundidade sem sair do Barreiras. A SEV-15 definiu o topo do Pirabas Superior a 57 m;
- **Poço 1500000900:** localiza-se a 3.860 m a leste da SEV-40 e 3.400 m a oeste da SEV-15. O topo do Pirabas Superior foi definido em 80 m e do Pirabas Inferior em 146 m, com boa correlação com a SEV-15;
- **Poço 1500001950:** localiza-se 460 m a sudoeste da SEV-15 e a correlação com o topo do Pirabas Superior é muito boa, apresentando 58 m para o poço e 57 m para a SEV. Para o topo do Pirabas Inferior, por sua vez, a correlação é ruim, assinalando 89 m para o poço e 239 m para a SEV;
- **Poço 1500001960:** localiza-se a 20 m de distância do Poço 1500001950 e a diferença para o topo do Pirabas Inferior é muito grande, sugerida em 89 m no poço 1500001950 e 190 m no poço 1500001960. O Poço 1500001960 apresenta-se mais compatível com o resultado da SEV-15, situada a 460 m de distância. O topo do Pirabas Superior é interpretado em 84 m;
- **SEV 39 x 1500002080 e 1500005380:** SEV-39 localizada a 708 m de distância dos poços, com topo do Pirabas Superior a 65 m e topo do Pirabas Inferior a 233 m. Poço 1500002080 mostrando topo do Pirabas Superior a 63 m e topo do Pirabas Inferior a 202 m. Poço 1500005380 com topo do Pirabas Superior a 65 m e topo do Pirabas Inferior com indicativos a 138 m. A correlação é muito boa entre os dados dos poços e os da SEV-39, com relação ao topo do Pirabas Superior. No caso do topo do Pirabas Inferior, a correlação melhor é com o Poço 1500002080;
- **SEV 34 x poços 1500007640 e 1500005700:** a distância entre os poços é de 60 m. Na SEV-34 (localizada a 2.160 m de distância dos poços) o topo do Pirabas Superior fica em 51 m. No poço 1500007640 o topo do Pirabas Superior fica em 59 m e no poço 1500005700 fica em 81 m;



- **SEV 38 x poços 1500002040 e 1500002060:** na SEV-38 (localizada a 1.080 m de distância dos poços) o topo do Pirabas Superior foi definido em 65 m e o topo do Pirabas Inferior em 140 m. No Poço 1500002040 o topo do Pirabas Superior foi definido em 70 m e o topo do Pirabas Inferior em 145 m, enquanto no poço 1500002060 o topo do Pirabas Superior ficou em 70 m, com correlação muito boa entre os dados dos poços e da SEV-38.

#### **4.2.6.4 Correlação das SEV's de Mendes (2000) com a Geologia**

- **SEV MS02 x poços 1500002040 e 1500002060** (próxima das SEV-38 e SEV-39 atuais): na SEV MS02 (situada a 120 m de distância dos poços) o topo do Pirabas Superior ficou em 76 m e o do Pirabas Inferior não foi definido. Na SEV-38 as profundidades ficaram em 65 m e 140 m, enquanto na SEV-39 ficaram em 65 m e 233 m (incerto). O poço 1500002040 definiu o topo do Pirabas Superior em 70 m e o topo do Pirabas Inferior em 145 m, enquanto o poço 1500002060 definiu o topo do Pirabas Superior em 70 m, com correlação muito boa entre os dados dos poços e os da SEV MS02;
- **SEV MS16 x poço 1500002050:** na SEV MS16 (situada a 220 m de distância dos poços) o topo do Pirabas Superior ficou em 74 m e o topo do Pirabas Inferior não foi definido. O poço 1500002050 definiu o topo do Pirabas Superior em 96 m e o topo do Pirabas Inferior em 184 m, com correlação boa para o topo do Pirabas Superior;
- **SEV MS10 x poço 1500006110:** na SEV MS10 (situada a 100 m de distância dos poços) o topo do Pirabas Superior ficou definido em 38 m e o topo do Pirabas Inferior em 125 m. O poço 1500006110 definiu o topo do Pirabas Superior em 65 m e não definiu o topo do Pirabas Inferior;
- **SEV MS21 x poços 1500002020 e 1500004030:** na SEV MS21 (localizada em torno de 1.200 m de distância dos poços) o topo do Pirabas Superior ficou em 48 m e do Pirabas Inferior em 100 m. No poço 1500002020 o topo do Pirabas Superior ficou em 72 m e do Pirabas Inferior em 132 m. No poço 1500004030 o topo do Pirabas Superior ficou em 80 m e o topo do Pirabas Inferior em 179 m;
- **SEV MS18 x poços 1500004750, 1500004760 e 1500007820:** na SEV MS18 (localizada em torno de 750 m de distância dos poços) o topo do

Pirabas Superior foi definido em 48 m e do Pirabas Inferior em 105 m. No poço 1500004750 o topo do Pirabas Superior ficou em 85 m e do Pirabas Inferior não definido. No poço 1500004760 o topo do Pirabas Superior foi definido em 91 m e o do Pirabas Inferior não definido. No poço 1500007820 o topo do Pirabas Superior ficou em 72 m e do Pirabas Inferior não definido;

- **SEV MS08 x poço 1500005110:** a SEV MS08 definiu o topo do Pirabas Superior em 35 m e o poço 1500005110 em 73 m. O topo do Pirabas Inferior, tanto na SEV quanto no poço, não foi definido;
- **SEV MS19 x poço 1500002170:** a SEV MS19 definiu o topo do Pirabas Superior em 40 m e do Pirabas Inferior em 124 m. No poço o topo do Pirabas Superior ficou em 90 m e o do Pirabas Inferior em 213 m, com correlação ruim;
- **SEV's MS04 e MS20 x poço 15000065200:** a SEV MS04 definiu o topo do Pirabas Superior em 57 m e o topo do Pirabas Inferior ficou indefinido, enquanto que a SEV MS20 definiu em 35 m e 81 m, respectivamente. No poço a profundidade do Pirabas Superior ficou em 73 m e do Inferior não foi definida.

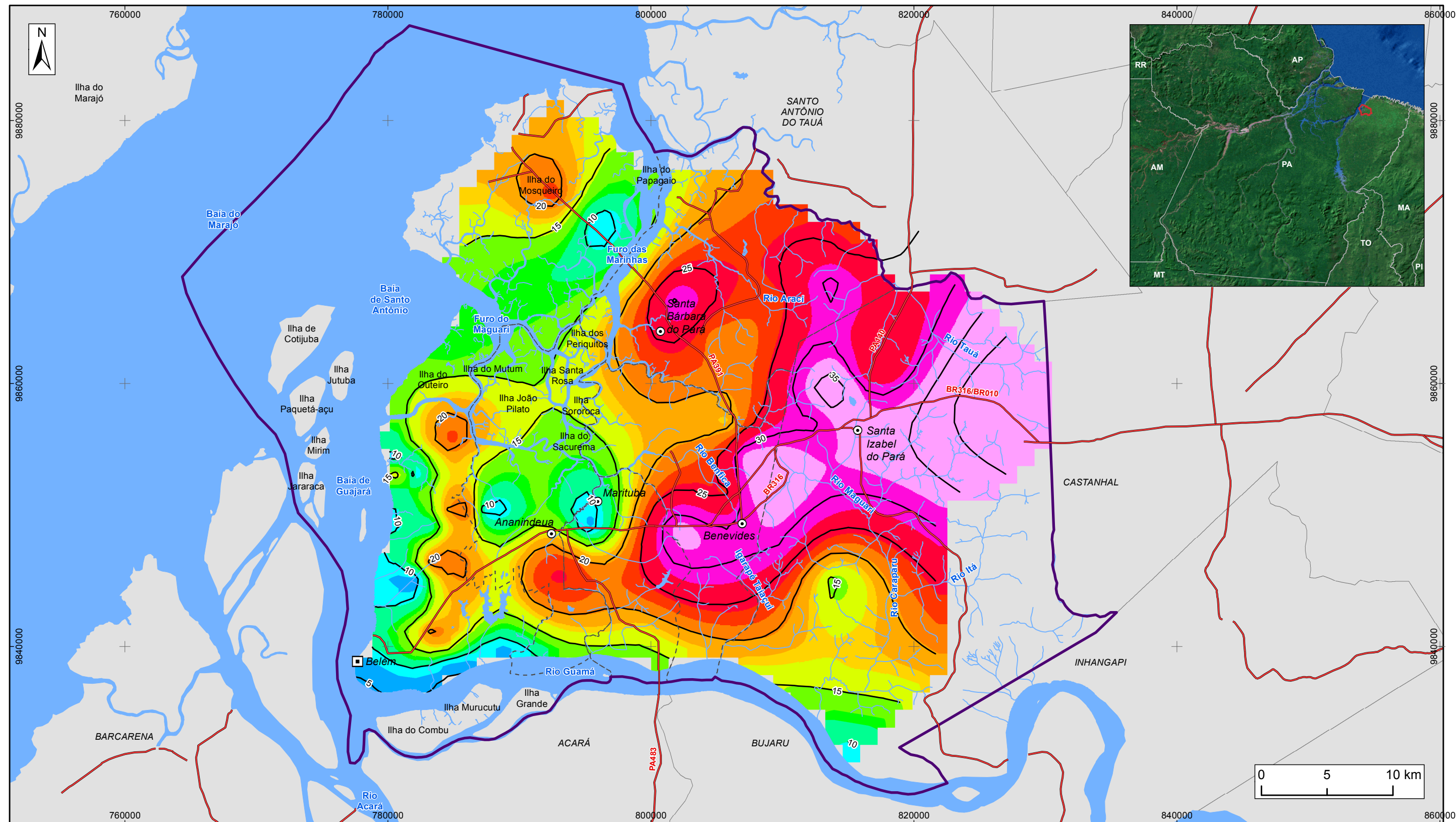
### 4.3 PRODUTOS DA INTEGRAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

#### 4.3.1 *Mapa da Cota do Nível Freático*

Na Figura 40 é apresentado o mapa da cota do nível freático definido para a área a partir dos dados das SEV's. As profundidades variam entre 0,3 m e 3,9 m.

#### 4.3.2 *Mapa Estrutural Definido com Base na Gravimetria*

No Mapa Estrutural (Figura 41) as estruturas separando os blocos soerguidos e rebaixados do embasamento cristalino, que são interpretados por zonas de falhas, são assinaladas. Observa-se um padrão de blocos separados por estruturas de direção SW-NE e SE-NW.



**LEGENDA**

- |                        |                                   |    |
|------------------------|-----------------------------------|----|
| ☐ Capital Estadual     | <b>Cota do nível freático (m)</b> | 18 |
| ⊙ Sede Municipal       | 3                                 | 20 |
| — Isolinha (m)         | 8                                 | 22 |
| ~ Hidrografia          | 10                                | 24 |
| — Rodovia              | 12                                | 28 |
| ☁ Massa d'água         | 13                                | 32 |
| ⊕ Área de Estudo       | 15                                | 41 |
| - - - Limite municipal | 17                                |    |

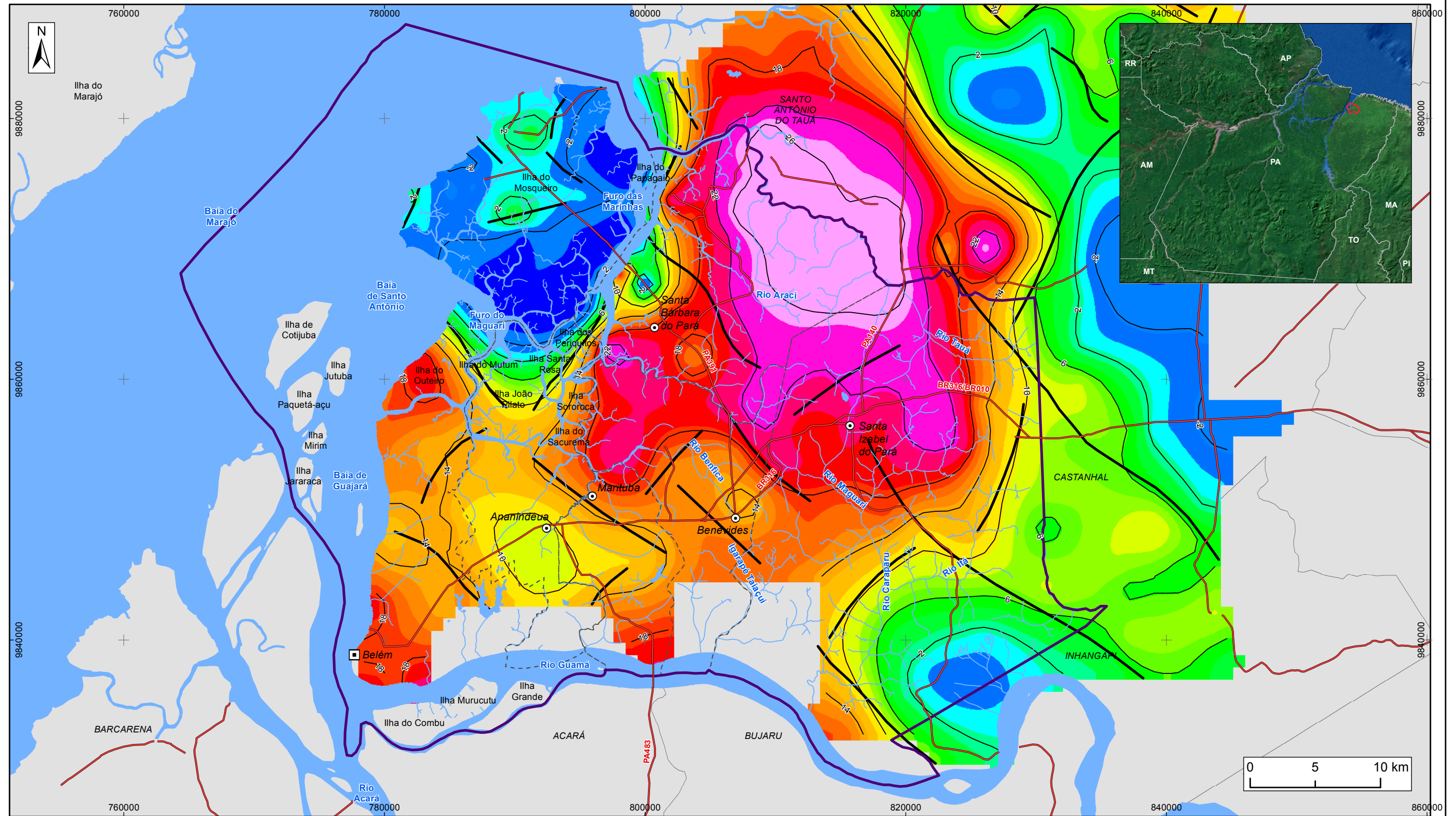
**Figura 40 - Mapa de cota do nível freático definido a partir das SEV's**



**ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA**

Fonte: Rodovias: SEMA/PA. Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM  
Nível freático: elaborado a partir dos dados das SEV's

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_40_Mapa_Cota_Nivel_Freatico_A3
Escala:	1:290.000



**LEGENDA**

□ Capital Estadual	--- Limite municipal	6,003	17,080
⊙ Sede Municipal	<b>Bouguer (mGal)</b>	7,063	18,420
~ Hidrografia	-5,069	8,172	19,760
— Rodovia	-1,782	9,730	21,800
— Lineamento	-0,211	11,460	24,690
— Isolinhas	1,364	13,210	28,390
☁ Massa d'água	2,910	14,530	
⊕ Área de Estudo	4,626	15,810	

**Figura 41 - Mapa estrutural**



**ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA**

Fonte: Rodovias: SEMA/PA. Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM  
Bouguer: Elaborado a partir de Oliveira e Silva (2011)

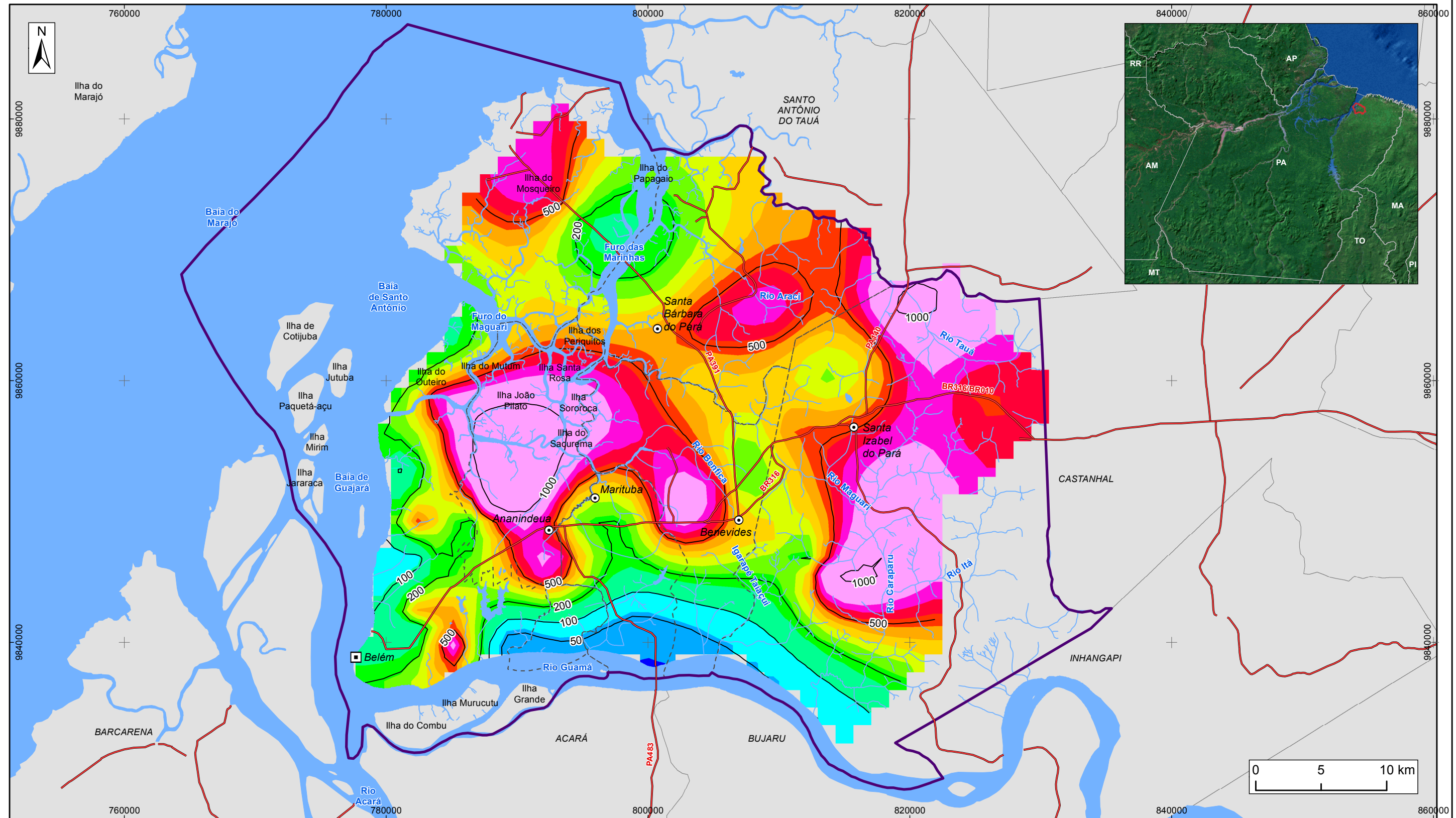
Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_41_Mapa_estrutural_A3
Escala:	1:290.000

#### **4.4 MAPAS QUALITATIVOS DE RESISTIVIDADE APARENTE DAS UNIDADES INVESTIGADAS**

Nas Figura 42, Figura 43 e Figura 44 são apresentados, respectivamente, os mapas de resistividade média das unidades geoeletricas interpretadas como Barreiras, Pirabas Superior e Pirabas Inferior. Esses mapas são qualitativos e refletem a variaçao da resistividade elétrica aparente média de cada uma das unidades geoeletricas mapeadas e delimitadas pelas sondagens elétricas verticais.

As variaçoes de resistividade elétrica observadas nos mapas podem ser interpretadas como o reflexo das variaçoes de fácies nas unidades mapeadas. As faixas com resistividades mais elevadas delimitam as áreas com predominância de material mais arenoso, enquanto aquelas com valores menores indicam as zonas com predomínio de material mais argiloso.

Pode-se considerar que o Mapa de Resistividade do Pirabas Inferior seja menos preciso que os demais, tendo em vista que a resistividade da camada mais profunda é, normalmente, definida pelos últimos e pouco numerosos pontos de leituras, com as distâncias AB maiores, nas quais o sinal é mais fraco.



**LEGENDA**

- |   |   |   |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>☐ Capital Estadual</li> <li>⊙ Sede Municipal</li> <li>~ Hidrografia</li> <li>— Rodovia</li> <li>— Isolinha de resistividade (ohm.m)</li> <li>☁ Massa d'água</li> <li>⊕ Área de Estudo</li> <li>- - - Limite municipal</li> </ul> | <p><b>Resistividade - Barreiras (ohm.m)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>21</li> <li>54</li> <li>98</li> <li>163</li> <li>213</li> <li>264</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>321</li> <li>387</li> <li>454</li> <li>525</li> <li>603</li> <li>695</li> <li>891</li> </ul> |
|---|---|---|

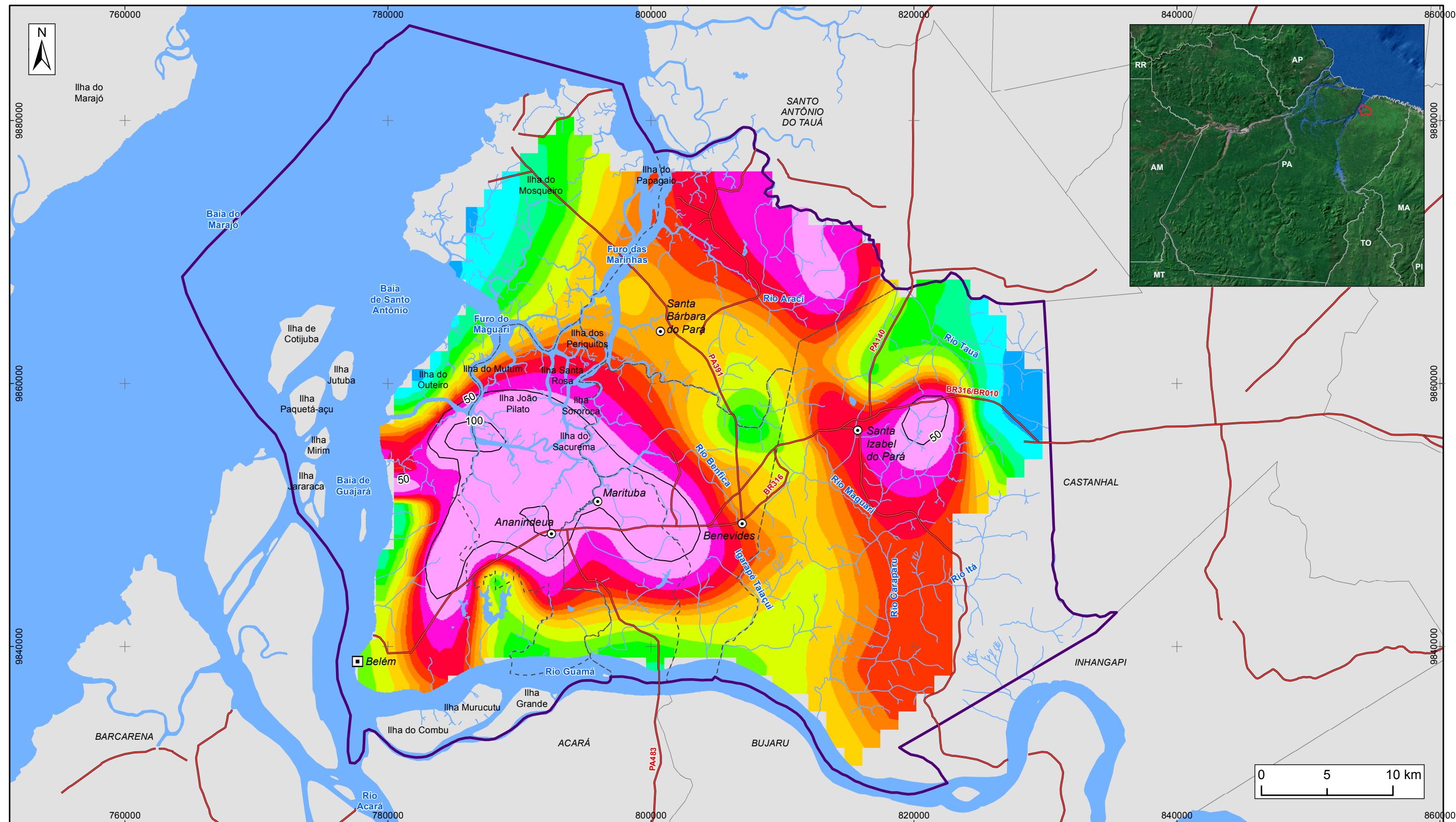
**Figura 42 - Mapa de isolinhas de resistividade média das unidades geolétricas interpretadas como Barreiras**



**ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA**

Fonte: Rodovias: SEMA/PA. Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM  
Resistividade: Elaborado a partir dos dados das SEVs

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_42_Mapa_Resistividade_Barreiras_A3
Escala:	1:290.000



**LEGENDA**

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>□ Capital Estadual</li> <li>⊙ Sede Municipal</li> <li>~ Hidrografia</li> <li>— Rodovia</li> <li>— Isolinha de resistividade (ohm.m)</li> <li>☁ Massa d'água</li> <li>⊕ Área de Estudo</li> <li>- - - Limite municipal</li> </ul> | <p><b>Resistividade - Pirabas Superior (ohm.m)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>4</li> <li>6</li> <li>8</li> <li>10</li> <li>12</li> <li>14</li> <li>17</li> <li>20</li> <li>22</li> <li>24</li> <li>27</li> <li>33</li> <li>42</li> <li>63</li> </ul> |
|---|--|

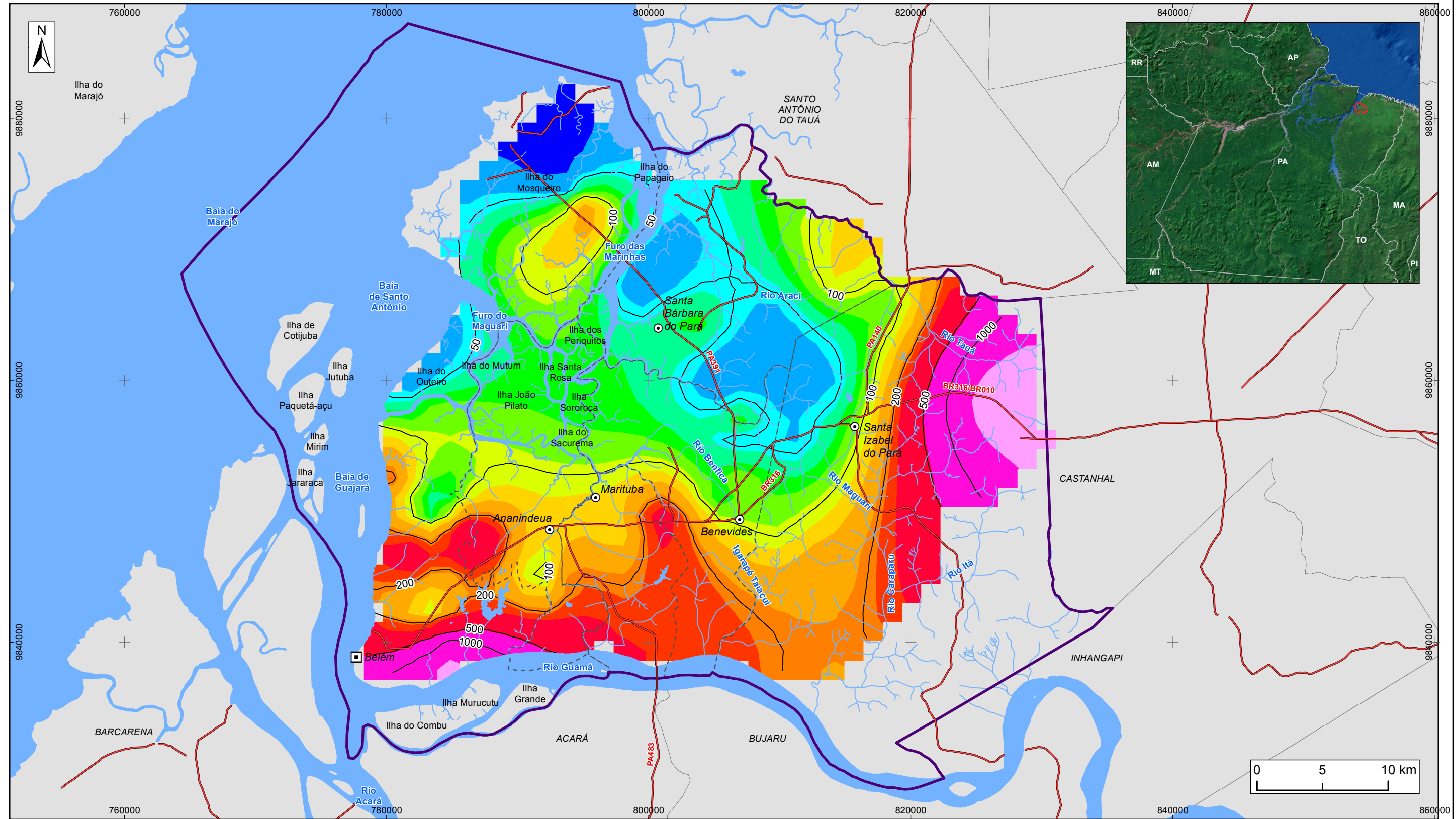
**Figura 43 - Mapa de isolinhas de resistividade média das unidades geoeletricas interpretadas como Pirabas Superior**



**ESTUDOS HIDROGEOLOGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA**

Fonte: Rodovias: SEMA/PA. Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM  
Resistividade: Elaborado a partir dos dados das SEVs

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_43_Mapa_Resistividade_Pirabas_Superior_A3
Escala:	1:290.000



**LEGENDA**

- Capital Estadual
- ⊙ Sede Municipal
- ~ Hidrografia
- Rodovia
- Isolinha de resistividade (ohm.m)
- Massa d'água
- Área de Estudo
- Limite municipal

Resistividade - Pirabas Inferior (ohm.m)	
31	142
44	187
54	212
66	254
77	517
93	2.114
116	9.700

**Figura 44 - Mapa de isolinhas de resistividade média das unidades geológicas interpretadas como Pirabas Inferior**



**ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA**

Fonte: Rodovias: SEMA/PA. Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM  
Resistividade: Elaborado a partir dos dados das SEVs

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_44_Mapa_Resistividade_Pirabas_Inferior_A3
Escala:	1:290.000

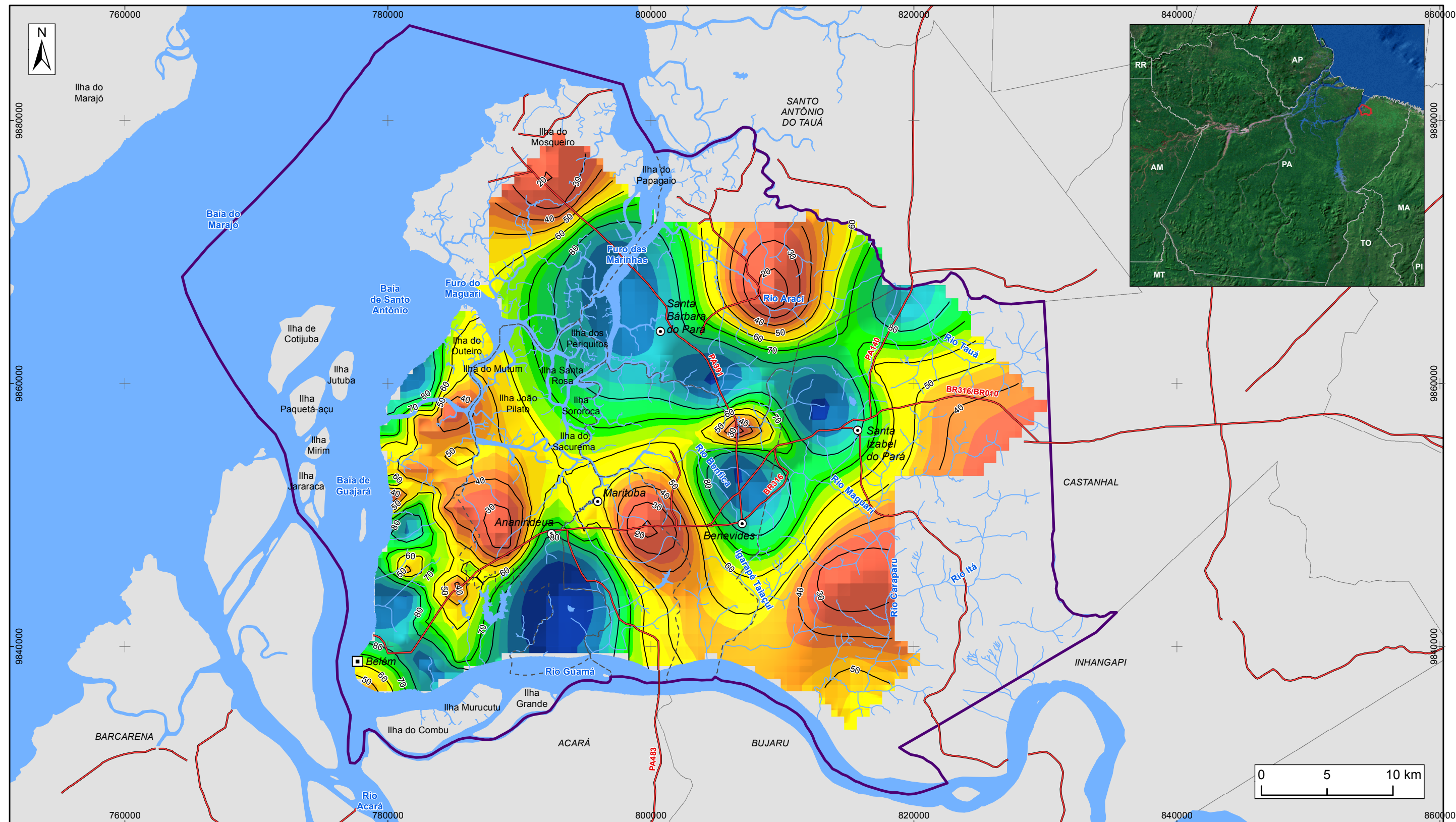


#### 4.5 MAPAS QUANTITATIVOS GERADOS A PARTIR DAS PROFUNDIDADES DOS LIMITES ENTRE AS UNIDADES

Nas Figura 45, Figura 46 e Figura 47 são apresentados, respectivamente, os mapas de profundidade da base das unidades Barreiras, Pirabas Superior e Pirabas Inferior. O primeiro corresponde à espessura do Barreiras somada ao Pós-Barreiras, já que essas duas unidades não estão delimitadas entre si neste estudo.

Na Figura 48 e na Figura 49 são apresentados, respectivamente, os mapas de isópacos do Pirabas Superior e do Pirabas Inferior. Tanto o Mapa da Profundidade da Base do Pirabas Inferior, quanto o Mapa de Isópacos do Pirabas Inferior foram construídos com apenas onze (11) pontos, embora relativamente bem distribuídos na área. Por esse motivo, nos dois mapas do Pirabas Inferior apenas os contornos foram gerados com continuidade em toda a área. Os *grids*, em cores, estão limitados aos locais onde existem informações de profundidade da unidade Pirabas Inferior.

De um modo geral, apesar de a malha de pontos ser muito irregular e com grandes extensões de áreas descobertas, foi possível identificar uma relação entre os blocos delimitados pela gravimetria e os padrões observados nos mapas de profundidades e espessuras das unidades. Verifica-se que as maiores espessuras do Pirabas Inferior estão situadas na região de Benevides.



**LEGENDA**

□ Capital Estadual	<b>Profundidade da base - Barreiras (m)</b>	62
⊙ Sede Municipal	104	58
~ Hidrografia	92	52
— Rodovia	85	48
— Isolinha (m)	79	44
☁ Massa d'água	73	36
⊕ Área de Estudo	67	25
- - - Limite municipal		

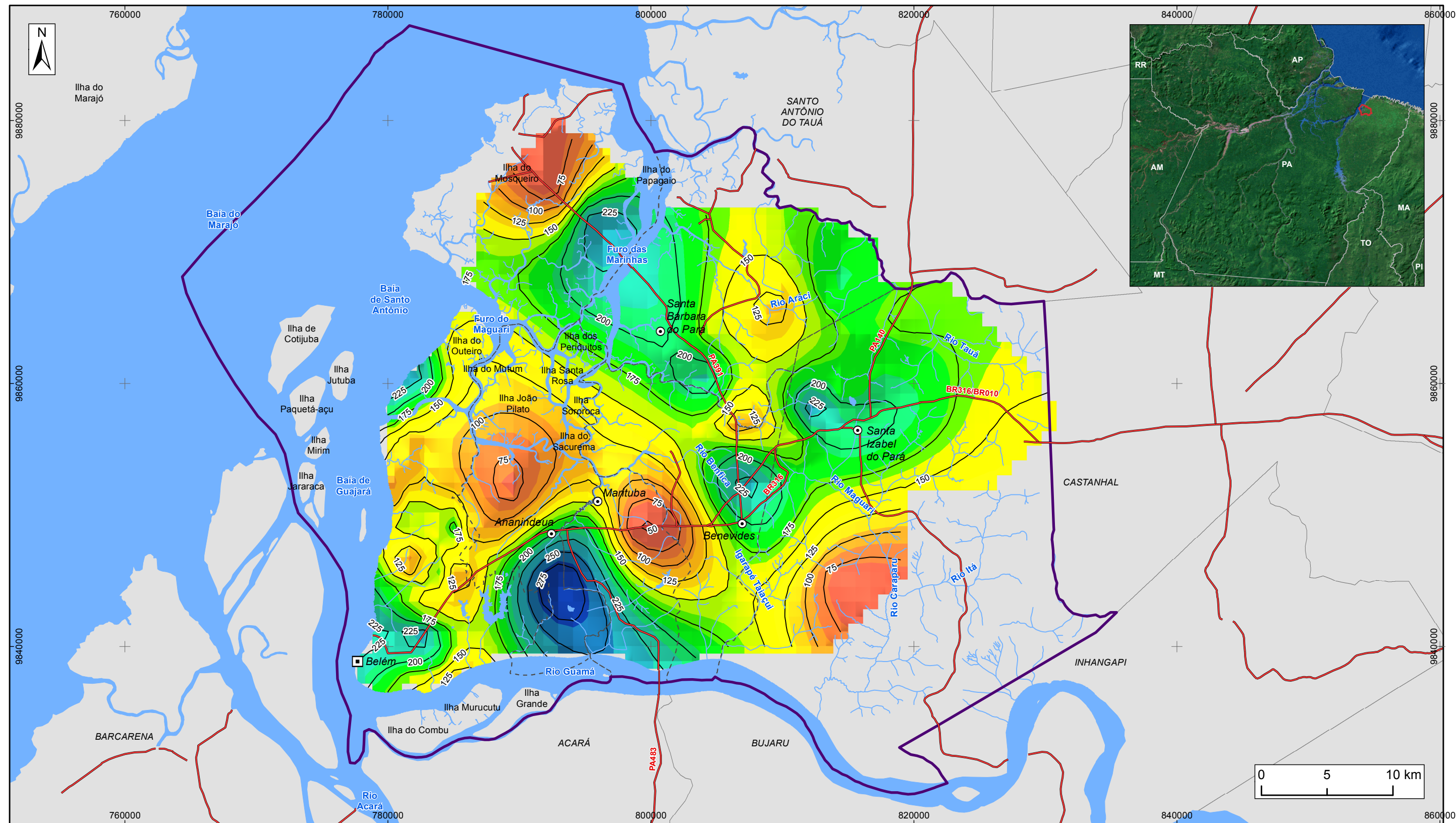
**Figura 45 - Mapa de profundidade da base da unidade Barreiras**



**ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA**

Fonte: Rodovias: SEMA/PA. Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM  
Profundidade: Elaborado a partir dos dados das SEVs

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_45_Mapa_Prof_Base_Barreiras_A3
Escala:	1:290.000



**LEGENDA**

□ Capital Estadual	<b>Profundidade da base - Pirabas Superior (m)</b>	150
⊙ Sede Municipal	270	136
~ Hidrografia	246	121
— Rodovia	227	106
— Isolinha (m)	210	88
☁ Massa d'água	194	70
⊕ Área de Estudo	179	46
- - - Limite municipal	165	

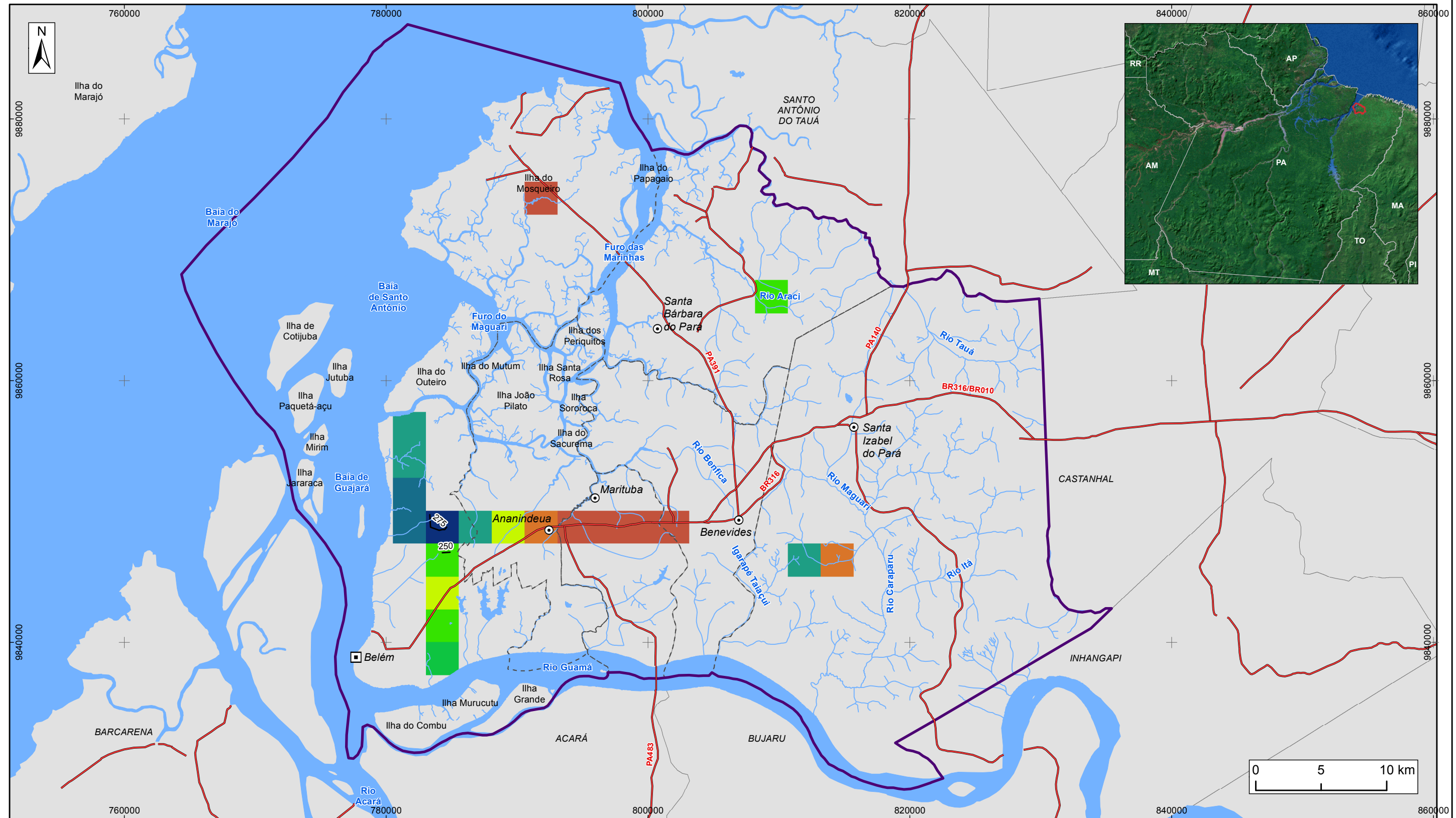
**Figura 46 - Mapa de profundidade da base da unidade Pirabas Superior**



**ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA**

Fonte: Rodovias: SEMA/PA. Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM  
Profundidade: Elaborado a partir dos dados das SEVs

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_46_Mapa_Prof_Pirabas_Superior_A3
Escala:	1:290.000



**LEGENDA**

- |                    |  |       |
|--------------------|--|-------|
| ▣ Capital Estadual | --- Limite municipal                               | ■ 235 |
| ⊙ Sede Municipal   | <b>Profundidade da base - Pirabas Inferior (m)</b> | ■ 228 |
| ~ Hidrografia      | ■ 298  | ■ 221 |
| — Rodovia          | ■ 269  | ■ 211 |
| — Isolinha (m)     | ■ 253  | ■ 203 |
| ☁ Massa d'água     | ■ 244  | ■ 196 |
| ⊕ Área de Estudo   |  |       |

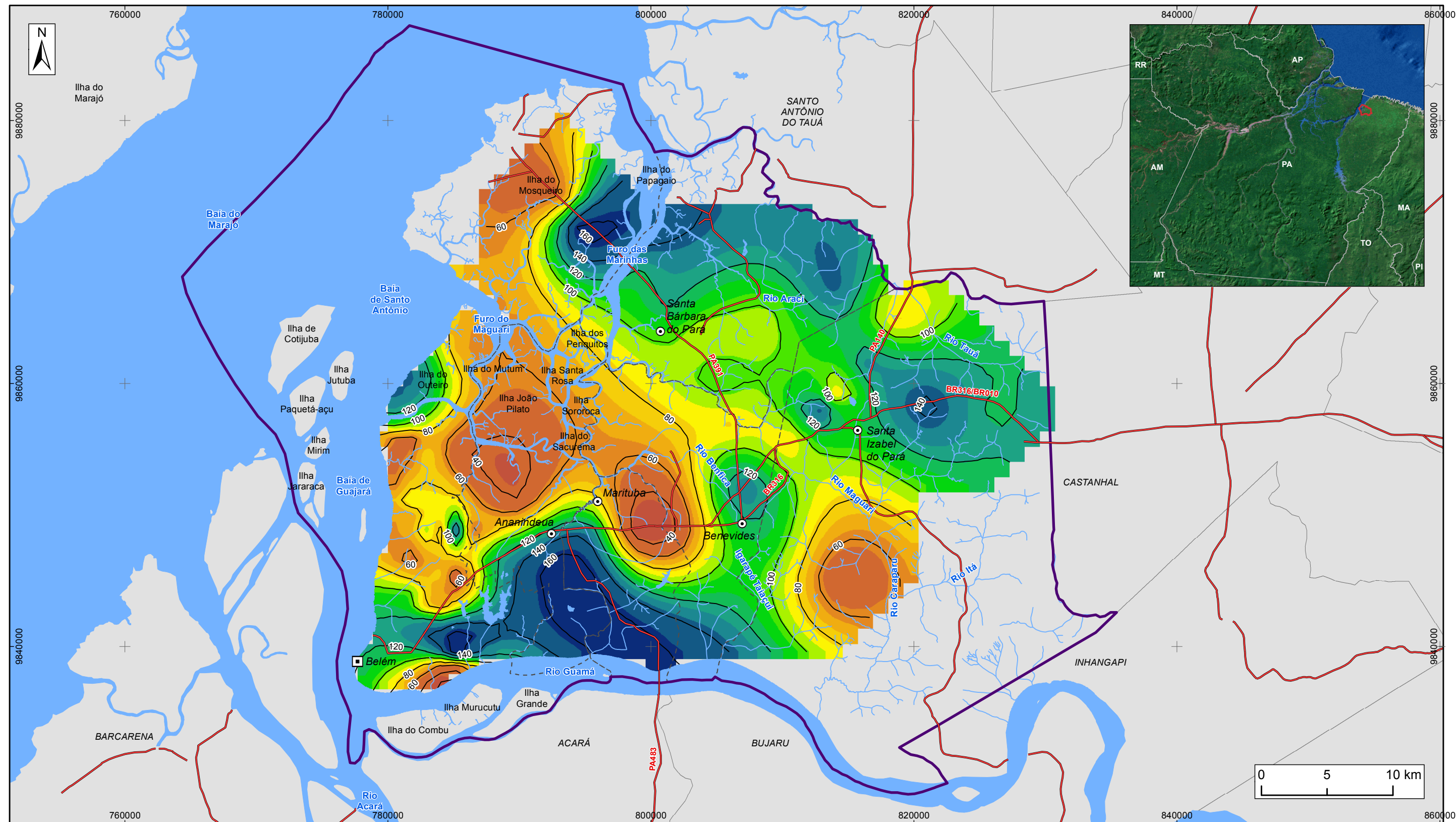
**Figura 47 - Mapa de profundidade da base da unidade Pirabas Inferior**



**ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA**

Fonte: Rodovias: SEMA/PA. Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM  
Profundidade: Elaborado a partir dos dados das SEVs

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_47_Mapa_Prof_Base_Pirabas_Inferior_A3
Escala:	1:290.000



**LEGENDA**

□ Capital Estadual	<b>Isópacas - Pirabas Superior (m)</b>	99
⊙ Sede Municipal	178	91
~ Hidrografia	156	83
— Rodovia	136	73
— Isópacas (m)	127	65
☁ Massa d'água	120	56
⊕ Área de Estudo	113	34
- - - Limite municipal	105	

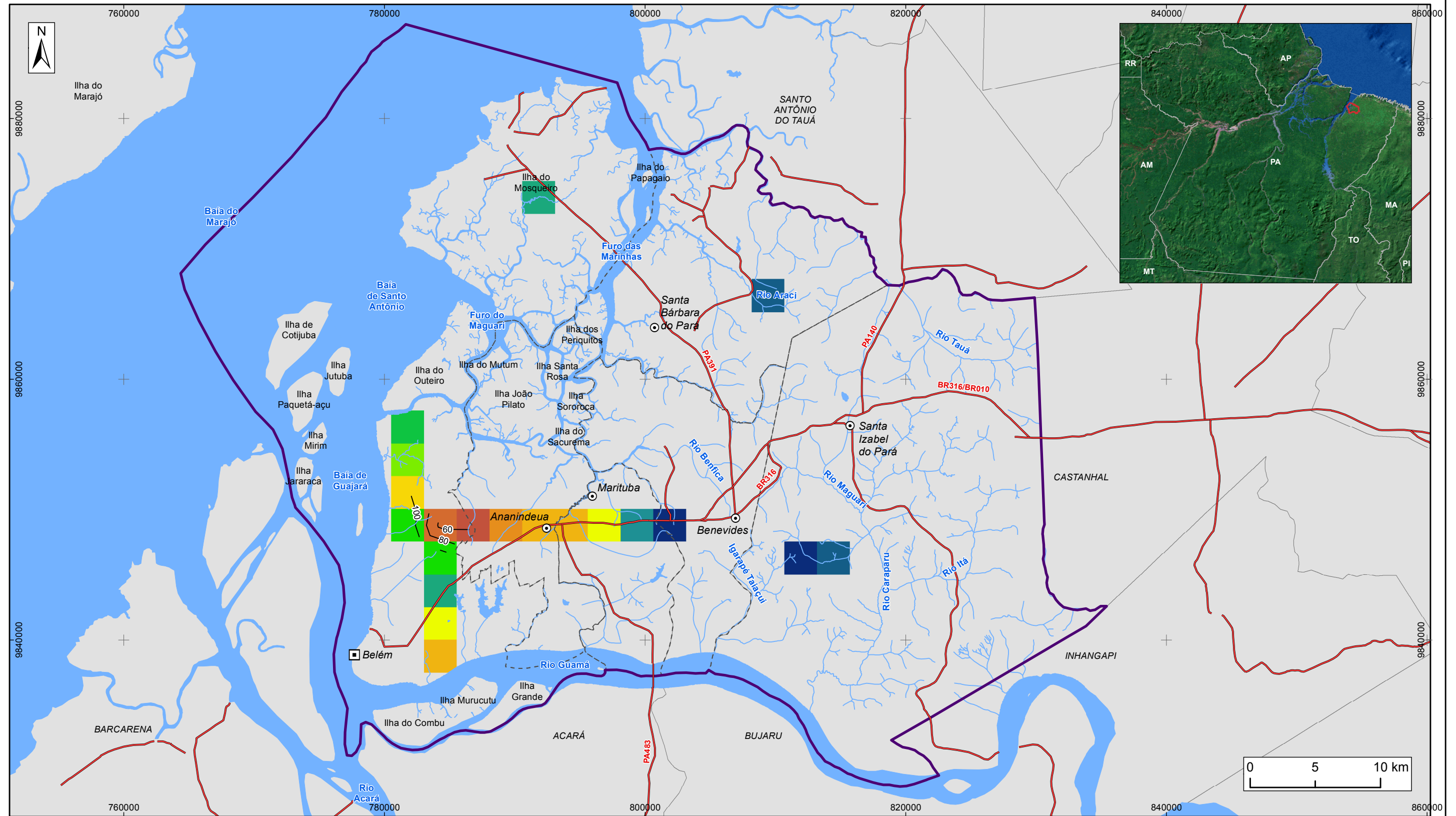
**Figura 48 - Mapa de isópacas da unidade Pirabas Superior**



**ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA**

Fonte: Rodovias: SEMA/PA. Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM  
Profundidade: Elaborado a partir dos dados das SEVs

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_48_Mapa_Isopacas_Pirabas_Superior_A3
Escala:	1:290.000



**LEGENDA**

□ Capital Estadual	<b>Isópacas - Pirabas Inferior (m)</b>	■ 108
⊙ Sede Municipal	■ 139	■ 107
~ Hidrografia	■ 137	■ 103
— Rodovia	■ 122	■ 92
— Isópacas (m)	■ 121	■ 73
☁ Massa d'água	■ 120	■ 64
⊕ Área de Estudo	■ 114	■ 55
- - - Limite municipal		

**Figura 49 - Mapa de isópacas da unidade Pirabas Inferior**



**ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA**

Fonte: Rodovias: SEMA/PA. Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM  
Profundidade: Elaborado a partir dos dados das SEVs

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_49_Mapa_Isopacas_Pirabas_Inferior_A3
Escala:	1:290.000

## 4.6 SEÇÕES GEOFÍSICAS FINAIS

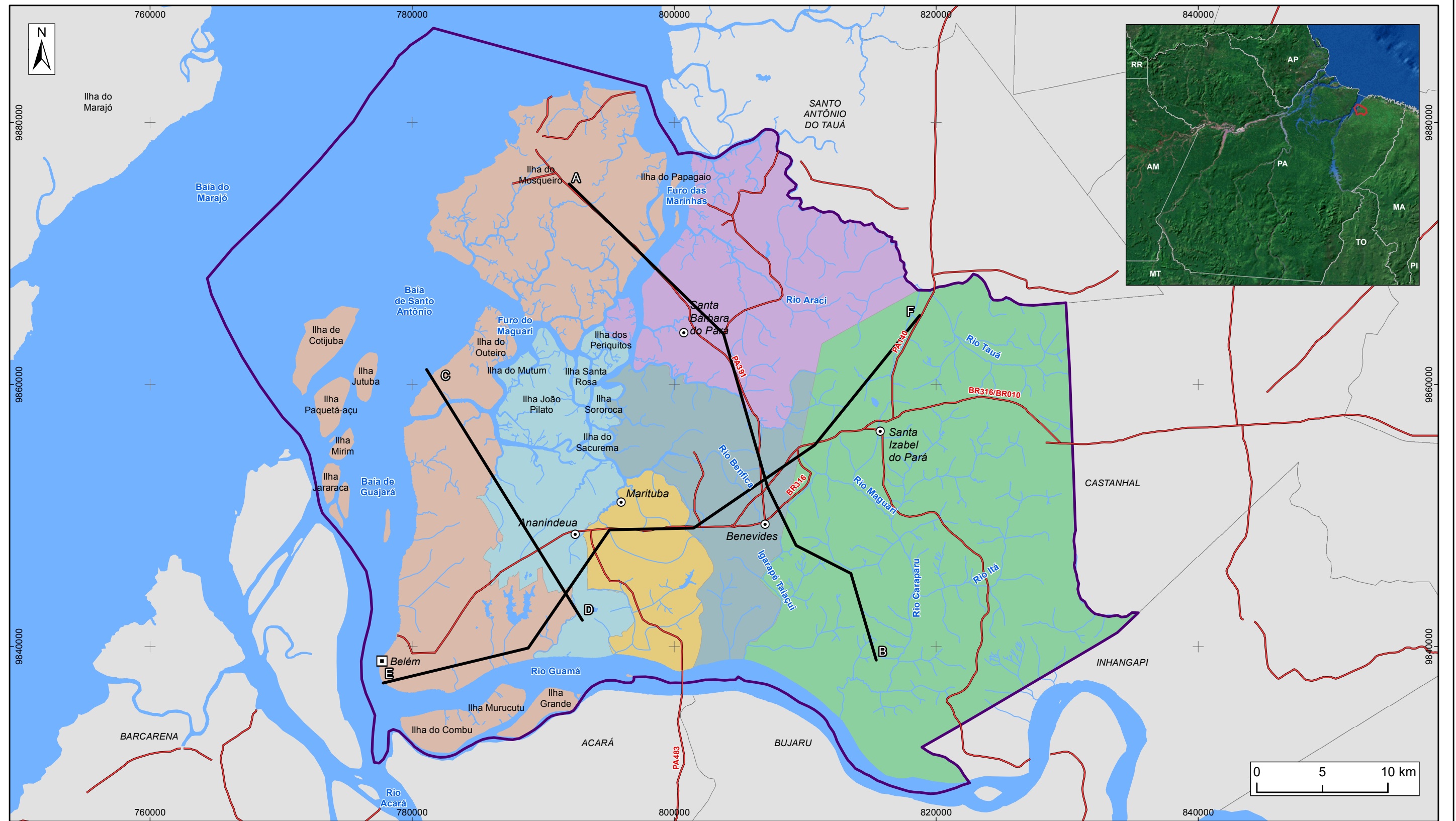
Na Figura 50 é apresentada a localização das seções geofísicas A-B (Figura 51), C-D (Figura 52) e E-F (Figura 53) construídas a partir dos mapas de profundidades das unidades Barreiras, Pirabas Superior e Pirabas Inferior, que foram gerados com base na integração de todos os dados geofísicos disponíveis e na correlação com as informações dos poços.

Nas seções foram assinaladas falhas com a sigla Fg e com a sigla F. A primeira corresponde às falhas interpretadas a partir da gravimetria e das SEV's. A segunda corresponde àquelas definidas com base apenas nas SEV's. Os contatos entre as unidades nas seções correspondem aos trechos onde as informações geofísicas ou geológicas forneceram informações seguras.

As seções geofísicas apresentadas são informações resultantes do estudo geofísico, que deverão auxiliar a geologia na definição de modelos de blocos e seções geológicas. Portanto, são apresentadas com um exagero vertical para destacar descontinuidades identificadas com base na geofísica, que são de dimensão vertical muito pequena, comparativamente, às extensões horizontais das linhas.

Os contatos entre as unidades geológicas são contínuos ou tracejados. Os contínuos correspondem aos trechos onde os dados geofísicos e/ou geológicos forneceram informações seguras. Os tracejados são contatos inferidos, onde as SEV's ou poços não forneceram informações bem definidas. Estão relacionados à base do Pirabas Inferior, situados, geralmente, a profundidades maiores do que 250 metros. A unidade situada abaixo do Pirabas Inferior, entre esta e o embasamento cristalino (sedimentação Pré-Pirabas), foi delimitada nas seções a partir de informações das SEV's que indicam a ocorrência de outro pacote sedimentar situado abaixo do Pirabas Inferior.

Além disso, as SEV's 16, 27 e 28, programadas para alcançar o embasamento cristalino, indicaram uma profundidade do embasamento bem maior do que a prevista para a região (OLIVEIRA e SILVA, 2011), onde a previsão para a profundidade do embasamento na área próxima de Santo Antônio do Tauá, a sudoeste, a partir de modelagem gravimétrica era de 50 a 100 metros.



**LEGENDA**

- |                     |                         |
|---------------------|-------------------------|
| ▣ Capital Estadual  | <b>Município</b>        |
| ⊙ Sede Municipal    | ■ Ananindeua            |
| ~ Hidrografia       | ■ Belém                 |
| — Rodovia           | ■ Benevides             |
| — Seções Geofísicas | ■ Marituba              |
| ■ Massa d'água      | ■ Santa Bárbara do Pará |
| ⊕ Área de Estudo    | ■ Santa Izabel do Pará  |

**Figura 50 – Localização das seções geofísicas AB, CD e EF**



**ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM/PA**

Fonte: Rodovias: SEMA/PA. Limites políticos: IBGE. Hidrografia: CPRM  
Seções geofísicas: ANA/Profil

Sistema de Coordenadas:	UTM
Datum Horizontal:	SIRGAS 2000
Unidade:	Metros
Fiscalização:	ANA
Data:	Junho/2018
Arquivo:	Figura_50_Mapa_Localizacao_Secoas_Geofisicas_A3
Escala:	1:290.000



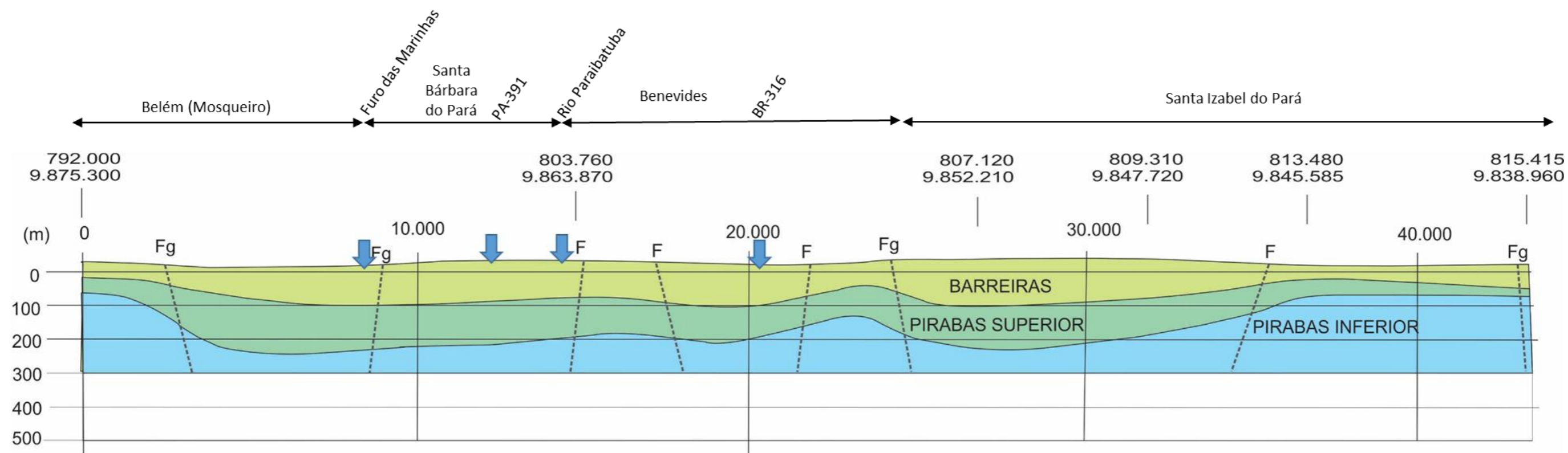


Figura 51 - Seção geofísica A-B.

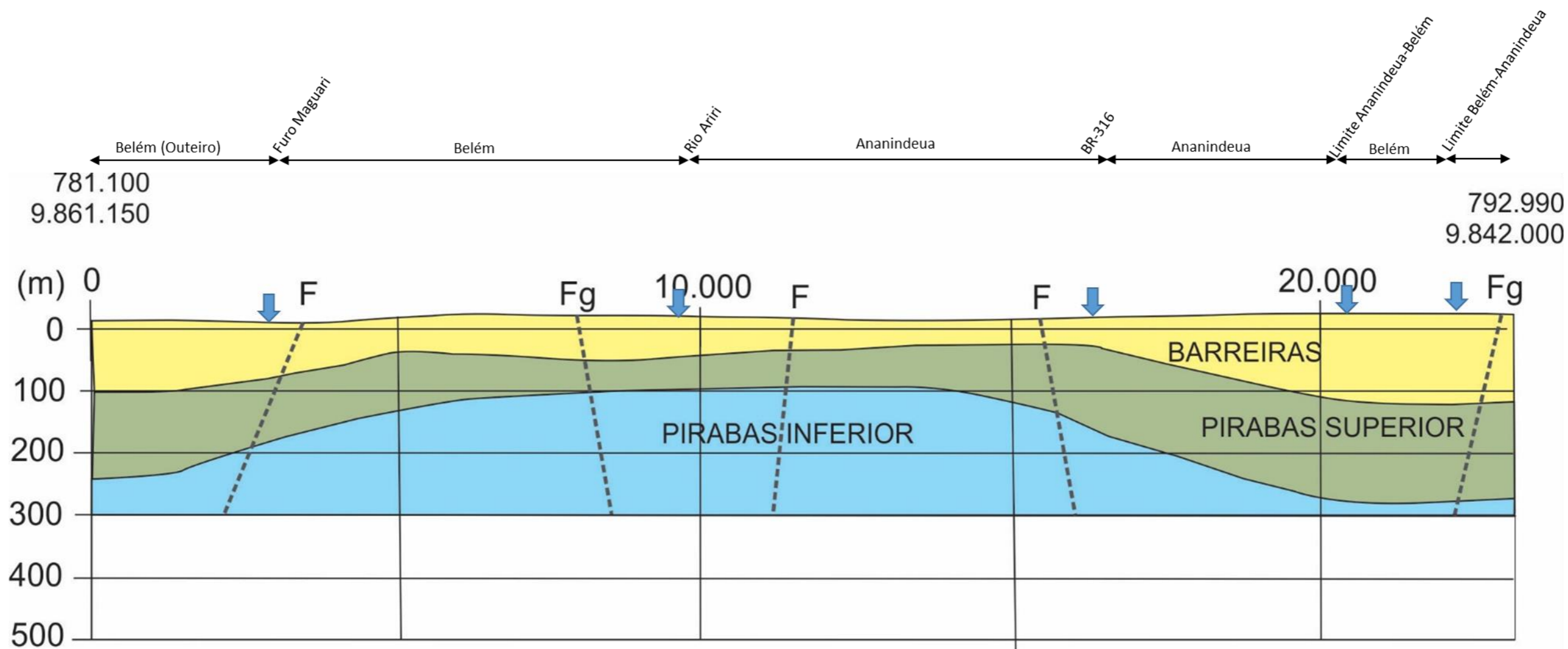


Figura 52 - Seção geofísica C-D.

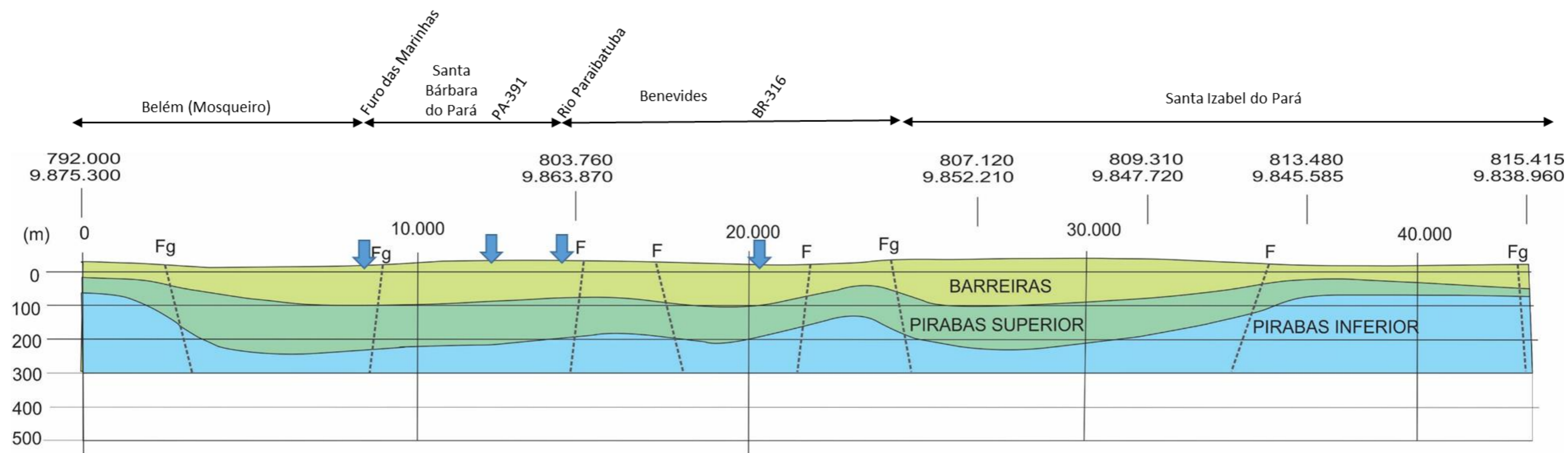


Figura 53 - Seção geofísica E-F.

## 4.7 CONCLUSÕES

As SEV's permitiram detectar o topo do Pirabas Superior e o topo do Pirabas Inferior, possibilitando estimar a espessura do Barreiras e do Pirabas Superior. Além disso, também foi possível definir o nível freático em cada SEV. As informações obtidas também permitiram caracterizar as três (3) unidades em termos de resistividades mínima, máxima e média. Da mesma forma, foi possível caracterizar em termos de resistividade a camada saturada abaixo do nível d'água (aquífero livre).

A correlação entre SEV's, juntamente, com os mapas Bouguer, permitiu identificar as descontinuidades laterais dos aquíferos, as quais foram interpretadas como possíveis estruturas condicionadas pelo embasamento cristalino.

A análise integrada de todos os dados apresentados neste relatório, considerando tanto as informações levantadas, quanto as de trabalhos anteriores, após a correlação com a geologia dos poços, subsidiou a elaboração dos mapas de resistividade das diferentes unidades aquíferas, com as variações laterais de resistividade em cada mapa indicando as variações de fácies das unidades. As faixas de mais alta resistividade delimitam zonas com predomínio de material arenoso, enquanto as de menores resistividades correspondem às frações mais argilosas.

Os mapas de profundidades da base do Barreiras, do Pirabas Superior e do Pirabas Inferior sugerem a presença de blocos soerguidos e rebaixados, condicionados por altos e baixos do embasamento, evidenciados pela resposta da gravimetria. Aparentemente, esses blocos estão separados por falhas regionais de direção SW-NE e SE-NW. Algumas das quarenta SEV's realizadas sugerem a ocorrência de um pacote sedimentar entre o embasamento cristalino e o Pirabas Inferior. O mapa de isópacas do Pirabas Inferior indica as maiores espessuras ocorrendo na região de Benevides. Nas seções geofísicas optou-se por não sugerir a profundidade da base do Pirabas Inferior (topo da Sedimentação Pré Pirabas ou talvez Formação Itapecuru?), devido à pequena e insuficiente quantidade de pontos com essa informação. Isso pode ser constatado nos mapas apresentados da profundidade da base e de isópacas do Pirabas Inferior.

Embora as informações geofísicas tenham passado por uma correlação com a geologia de poços, as seções e os mapas geofísicos deverão servir unicamente como apoio à geologia na elaboração de modelos de blocos e seções geológicas representativos da geologia da área, bem como na caracterização hidrogeológica da região.

Não foi possível caracterizar o contato do pós-Barreiras com o Barreiras em virtude da falta de uma definição clara do que caracteriza de fato, do ponto de vista litológico, esse contato. Em todos os poços analisados, com informação de perfilagem geofísica, a descrição litológica não registra a ocorrência do Pós-barreiras. Assim é que os poços AP01 e AP02 – Assembleia Paraense, Mata Fome I – Tapanã P2, Infraero – SCI P2 – 08 Val de Cans, Pantanal COHAB, COSANPA P2 Pratinha e BOLTHOUSE P2, registraram a presença do Barreiras e do Pirabas na descrição e no relatório dos poços. Por outro lado, os poços P10 CPRM e UFPA P4 registraram a presença apenas do Barreiras. O poço Maracanã tem geofísica, mas não tem relatório geológico, impossibilitando a caracterização, da mesma forma que nos demais, do contato do Pós-Barreiras com o Barreiras.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, R. L. C. **Geotermia Rasa em Belém**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Belém, 1987. Curso de Pós-Graduação em Geofísica. Belém, 1987. 149 f.
- BAHIA, V. E. **Estudo hidrogeológico da área localizada entre o depósito de lixo metropolitano de Belém (Aurá) e o Lago Água Preta**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará - Centro de Geociências - Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. Belém, 2003. 117 f.
- BAHIA, V. E.; LUIZ, J. G.; FENZL, N. Influência do Depósito Sanitário Metropolitano de Belém (Aurá) sobre as Águas Subterrâneas da Área. **Revista Águas Subterrâneas**, 18, 2004, p. 89-102.
- BARBOSA, A. V. C. **Aplicação de sondagem elétrica e GPR no mapeamento geotécnico no município de Belém-PA**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2000. Curso de Pós-Graduação em Geofísica, 2000. 113 f.
- BRASIL, D. L. **Investigação geofísica forense e antropológica com o método GPR no cemitério do Tapanã e no cemitério perdido de Mosqueiro (Belém, Pará)**. Dissertação (mestrado em geofísica) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geofísica, Belém, 2013. 94 f.
- CATETE, C. P. **Investigações ambiental e forense com os métodos geofísicos radar de penetração do solo, polarização induzida e eletrorresistividade no Cemitério do Tapanã, Belém/Pará**. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Programa de Pós-Graduação em Geofísica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.
- DIAS, G. N. Estudo geofísico sobre a erosão fluvial do rio Guamá na orla da Universidade Federal do Pará, Belém (PA). Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Geofísica, Instituto de Geociências, Belém, 2011. 110 f.
- LOKE, M. H.; BARKER, R. D. Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion. **Geophysical Prospecting**, n. 44, p. 499-523. 1996.
- MELO, M. S. **Geofísica Aplicada à Arqueologia: Investigação no Sítio Histórico Engenho Murutucu, em Belém, Pará**. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Universidade

- Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geofísica, Belém, 2007. 99 f.
- MENDES, R. L. R. **Geofísica aplicada ao mapeamento de aquíferos da região metropolitana de Belém**. Dissertação de Mestrado. UFPA. 2000.
- MENDES, R. L. R.; VERMA, OM. P. Perfilagem geofísica de poço e SEV aplicados a delimitação de aquíferos. In: *1st Joint World Congress on Groundwater*. 2000. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/viewFile/23755/15822>. Acesso em: 03 jan. 2017.
- MENDES, R. L. R.; VERMA, OM. P. Prospecção de água subterrânea na região de Belém (PA) através de perfilagem geofísica de poço e eletrorresistividade. **Brazilian Journal of Geology**, 32(1). 2008.
- NASCIMENTO, M. H. D'O. **Identificação de ambientes de sedimentação na área metropolitana de Belém a partir de perfis de poço**. Dissertação de Mestrado. UFPA. 2003.
- NUNES, L. P. M. **Caracterização Geométrica da Área de Curtume Localizado no Distrito de Icoaraci, Belém-Pará**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará. 2005. 86 f.
- OLIVEIRA, J. G. F.; SILVA, R. C. S. **Geologia e recursos minerais da Folha Belém - SA.22-X-D-III, Estado do Pará, escala 1:100.000**. Programa Geologia do Brasil (PGB), Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil. Projeto Cartografia da Amazônia. CPRM: Belém. 2011.
- PALHETA, E. S. M. **Estudo da compartimentação e arcabouço neotectônico da Ilha de Mosqueiro - Pará empregado no conhecimento hídrico subterrâneo**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Pará. 2008. 269 p.
- PINTO, G. P. **O Método GPR aplicado a localização de tubulações utilizadas no abastecimento de água na região urbana do município de Belém/Pará**. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Programa de Pós Graduação em Geofísica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

SANTOS, R. S. **Identificação de fácies em perfis de poço com algoritmo inteligente.**

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geofísica, Belém, 2014. 55 f.

SOUZA, D. M. **GPR aplicado à arqueologia nas áreas do porto da Cargill (Santarém/PA) e no Palacete Faciola (Belém/PA).** Dissertação (mestrado em geofísica) – Universidade

Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geofísica, Belém, 2012. 60 f.

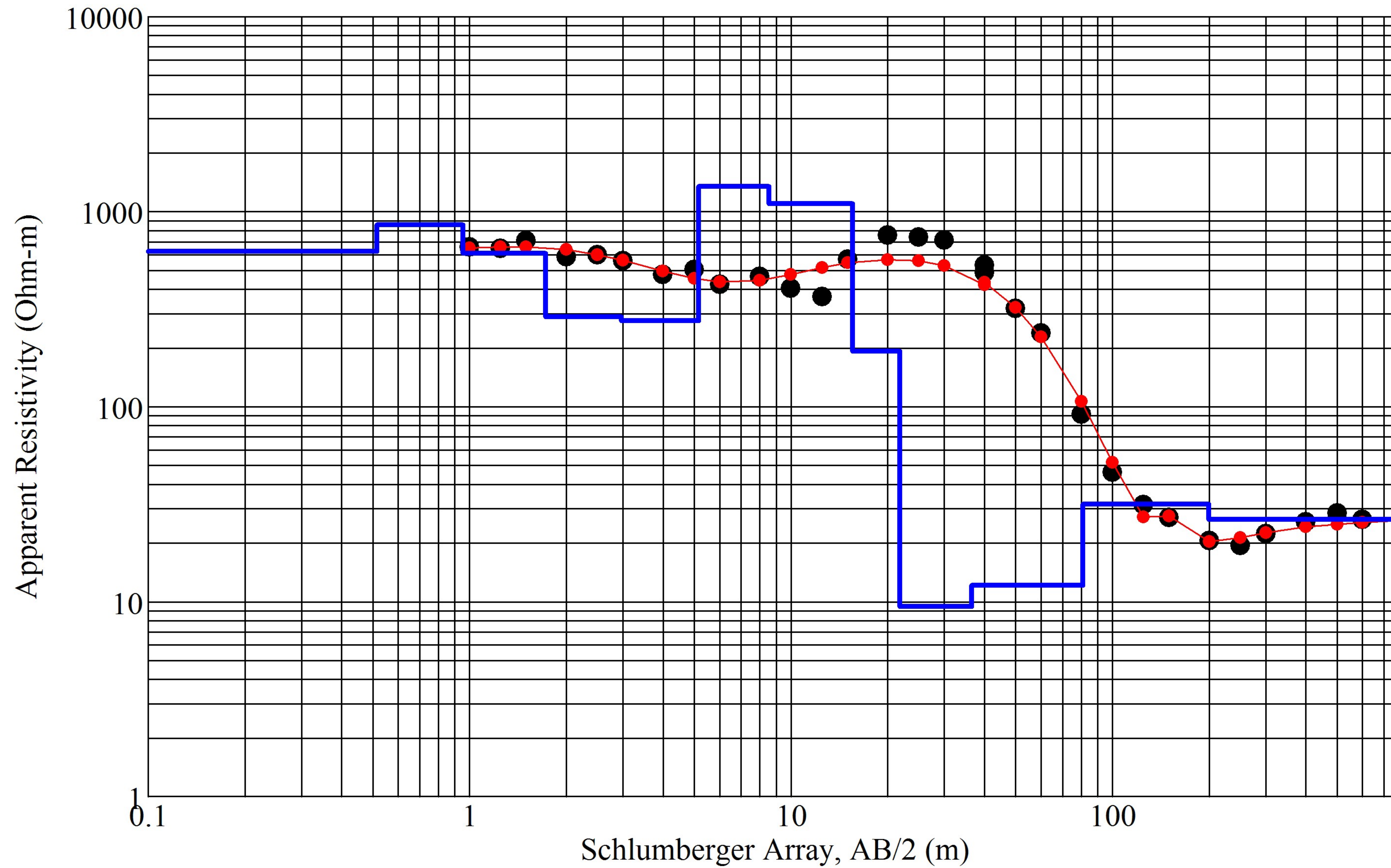


## 6 ANEXOS

### ***ANEXO I – Dados de Campo das SEVs (Disponíveis em meio digital)***

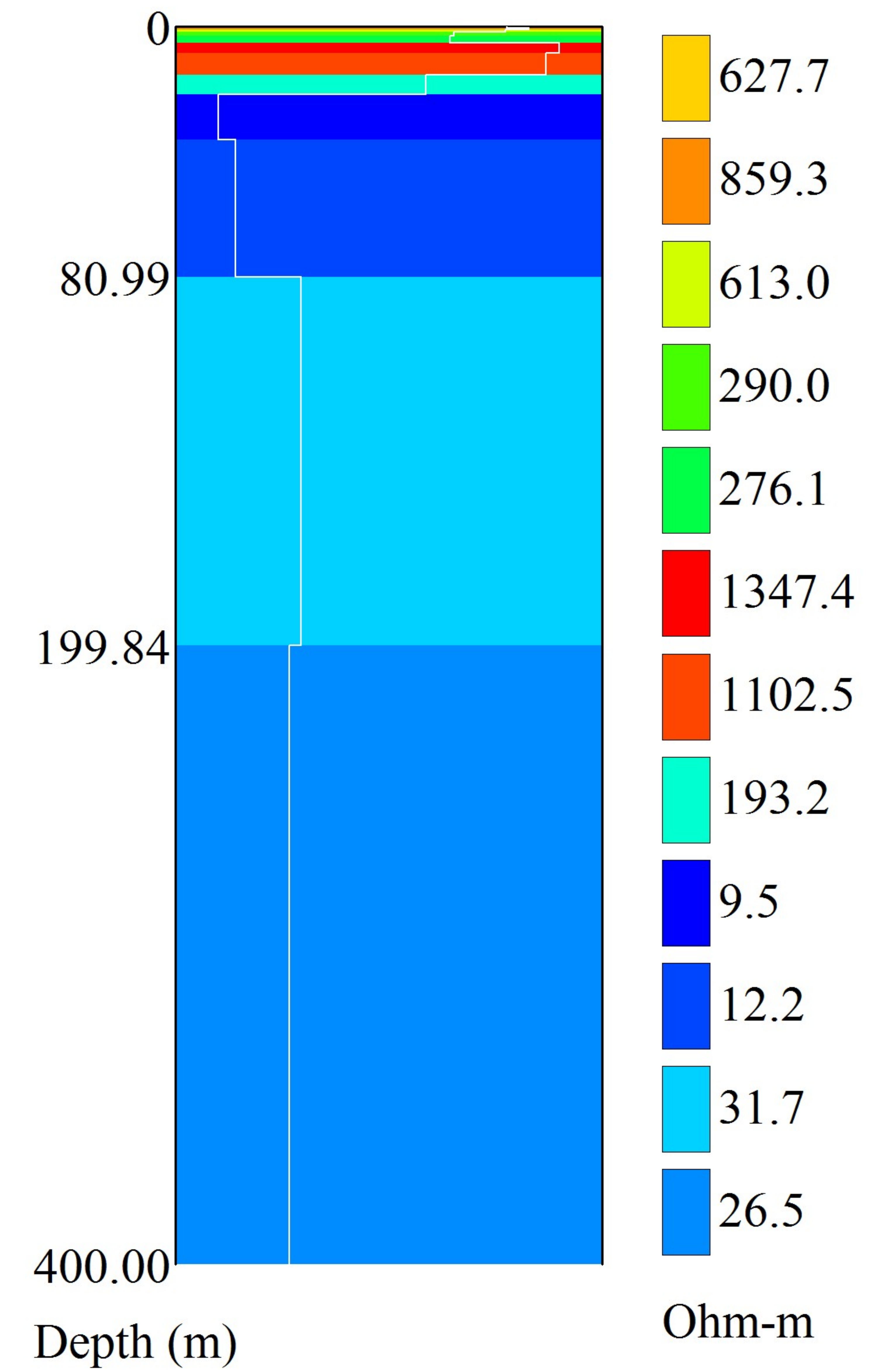
## ***ANEXO II – SEV Reprocessadas***

# SEV 01 - Measured and Modeled Data

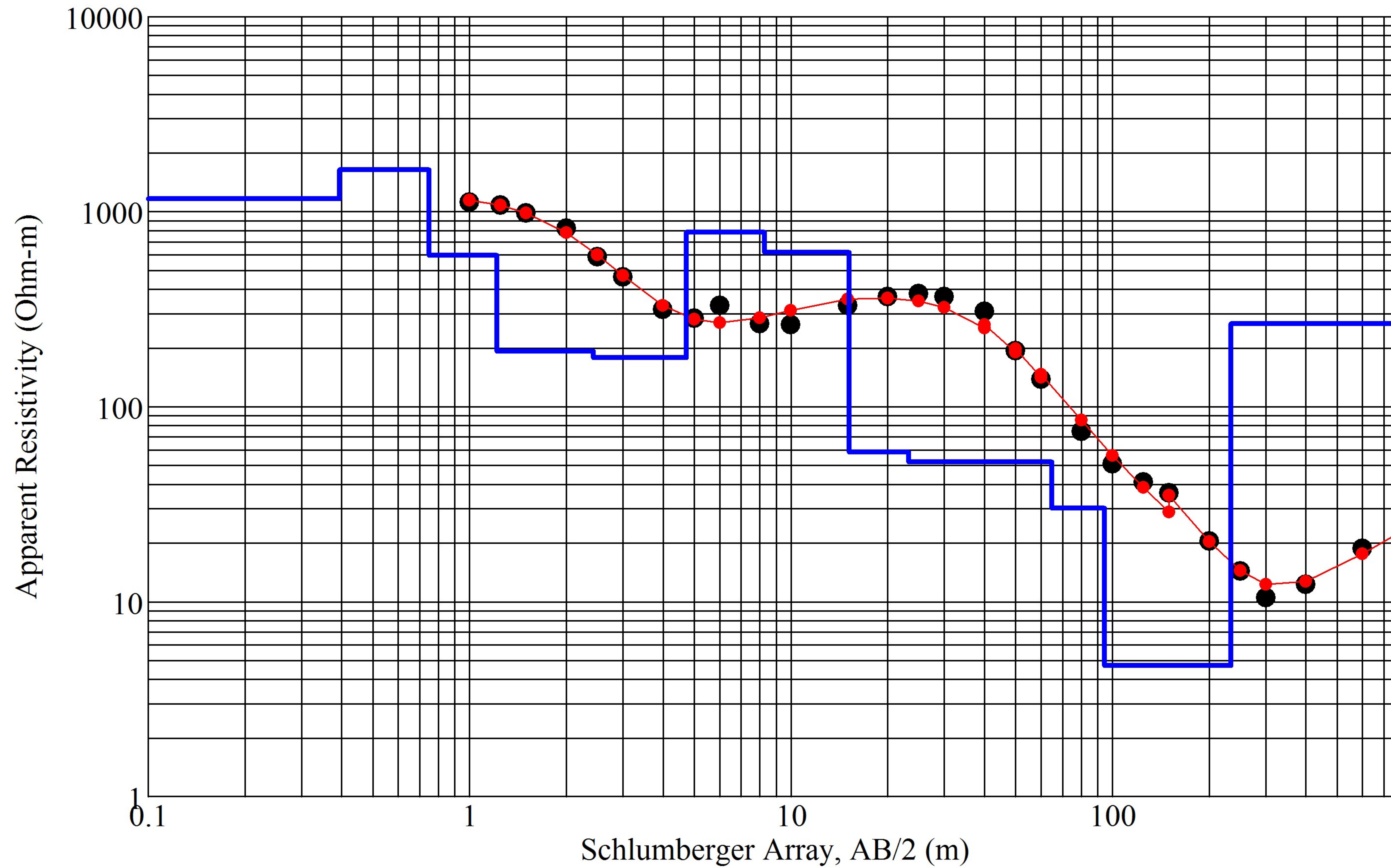


Iteration = 8 RMS = 13.66%

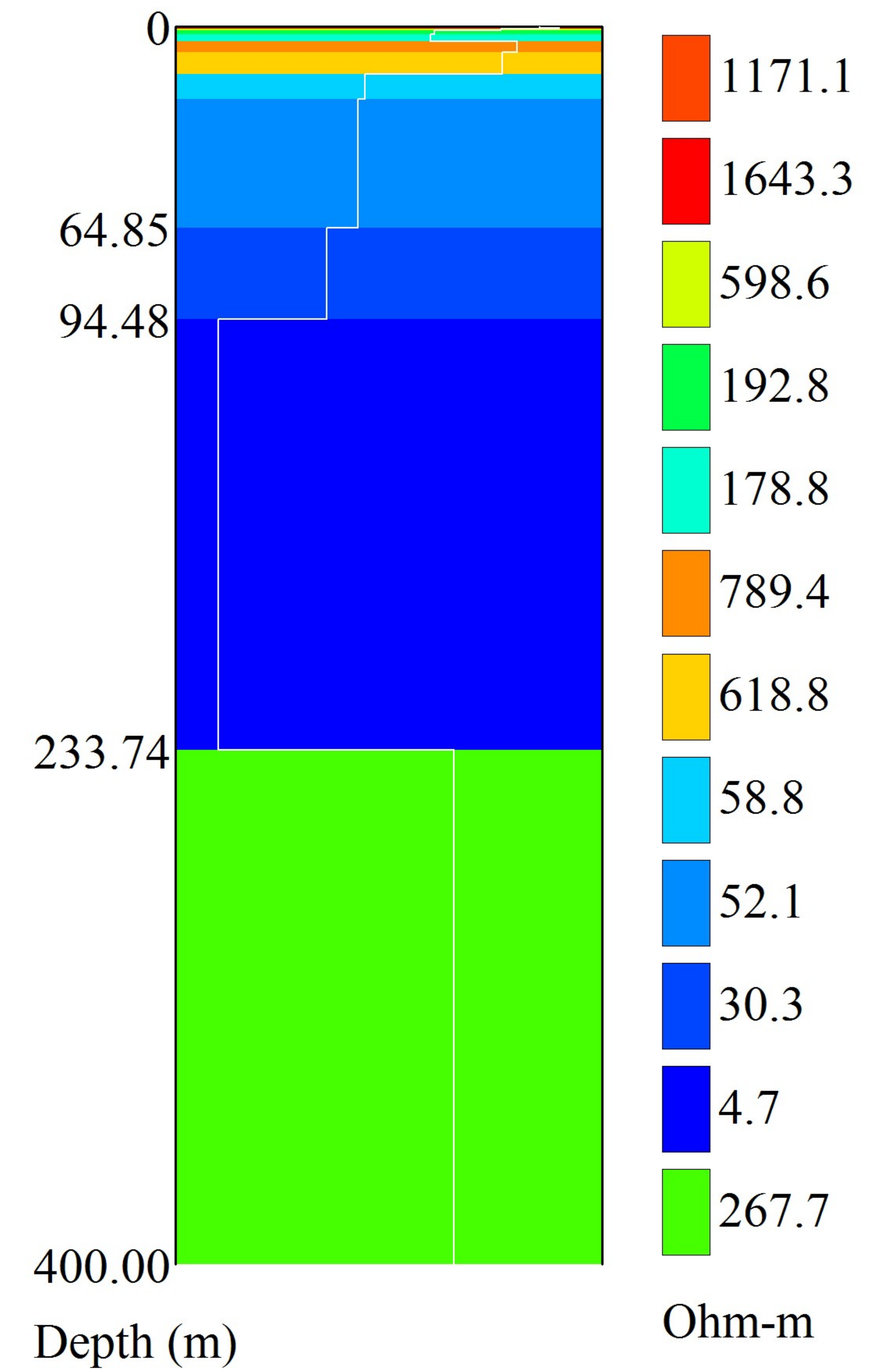
# Layered Resistivity Model



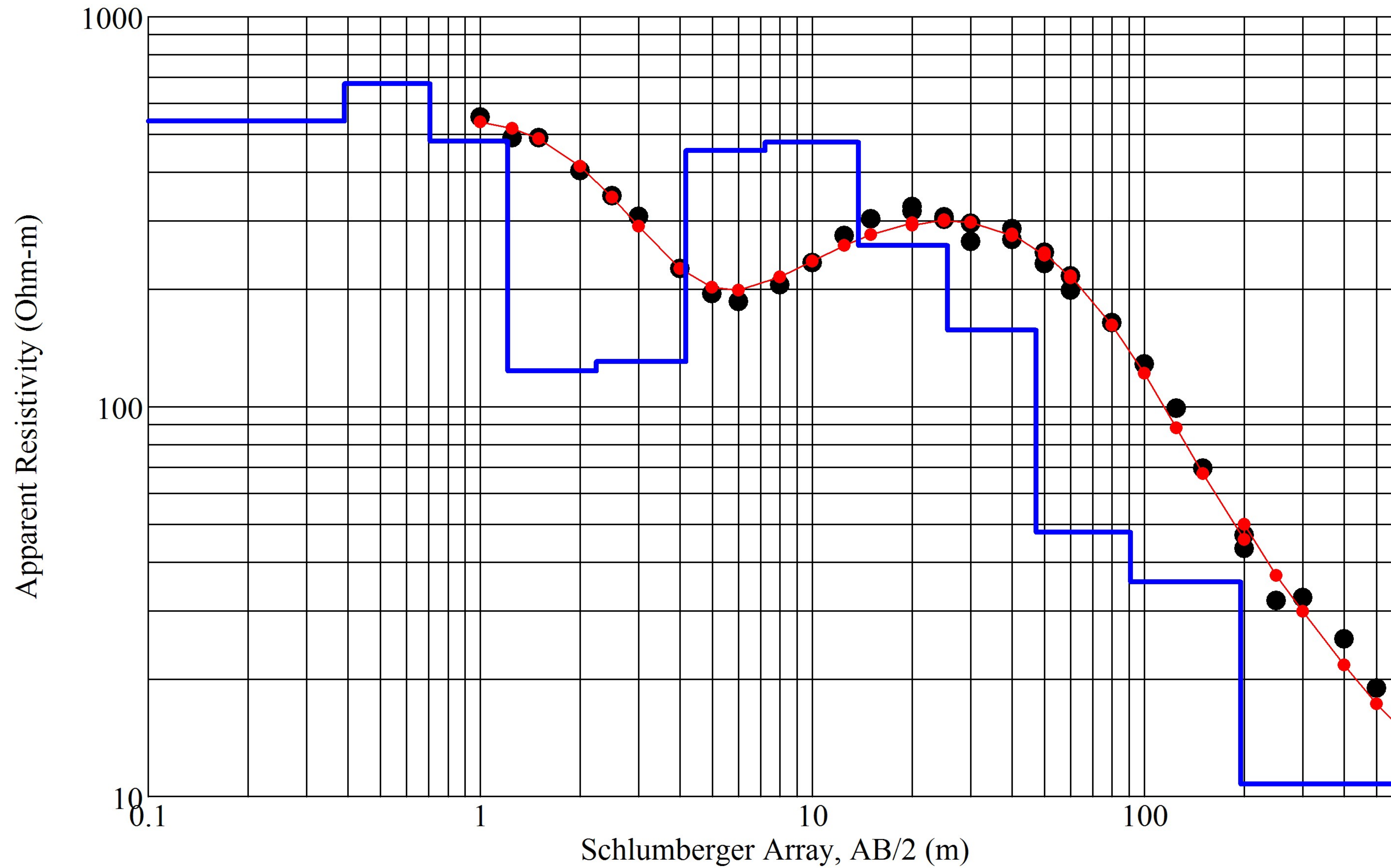
### SEV 02 - Measured and Modeled Data



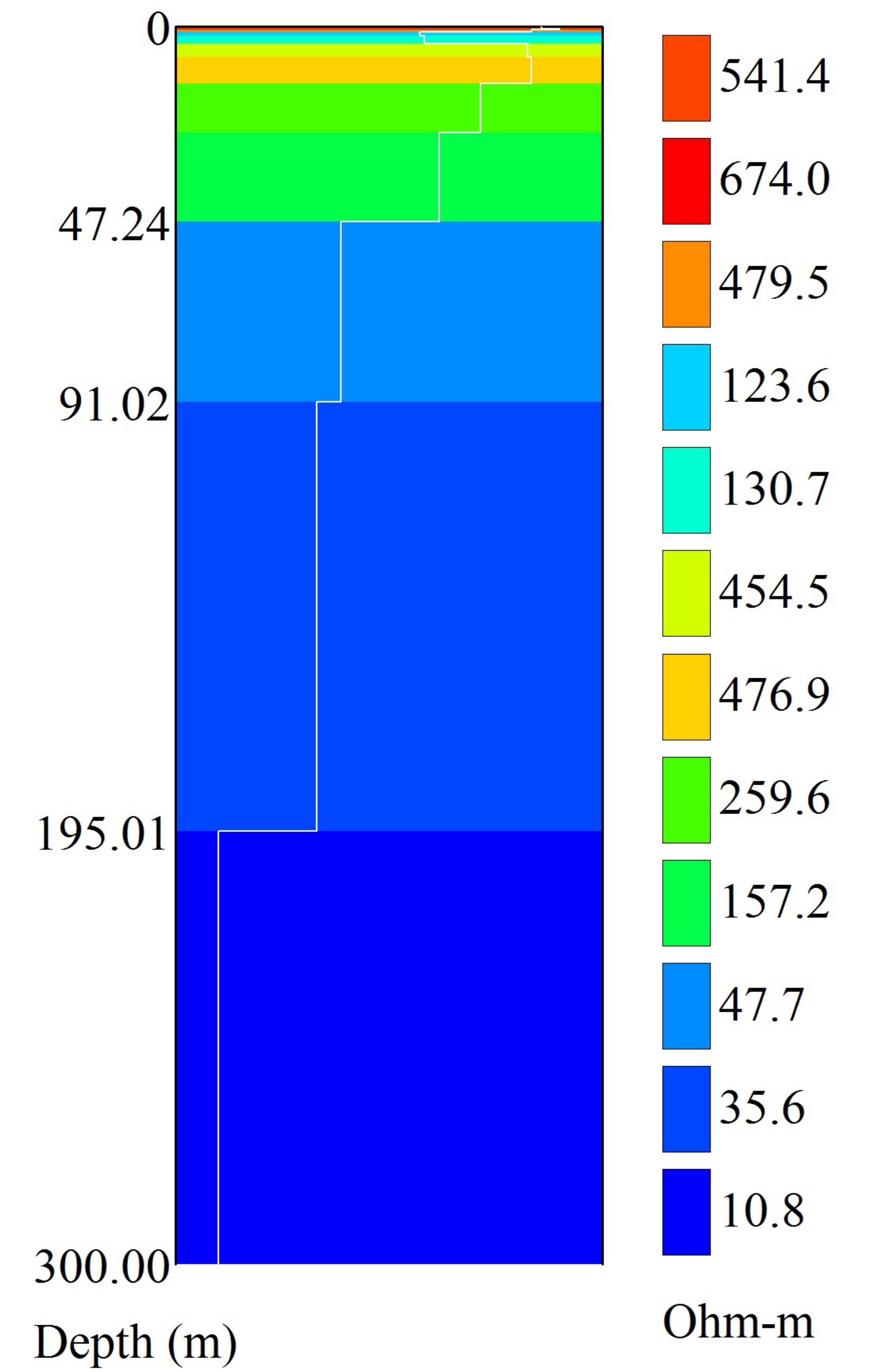
### Layered Resistivity Model



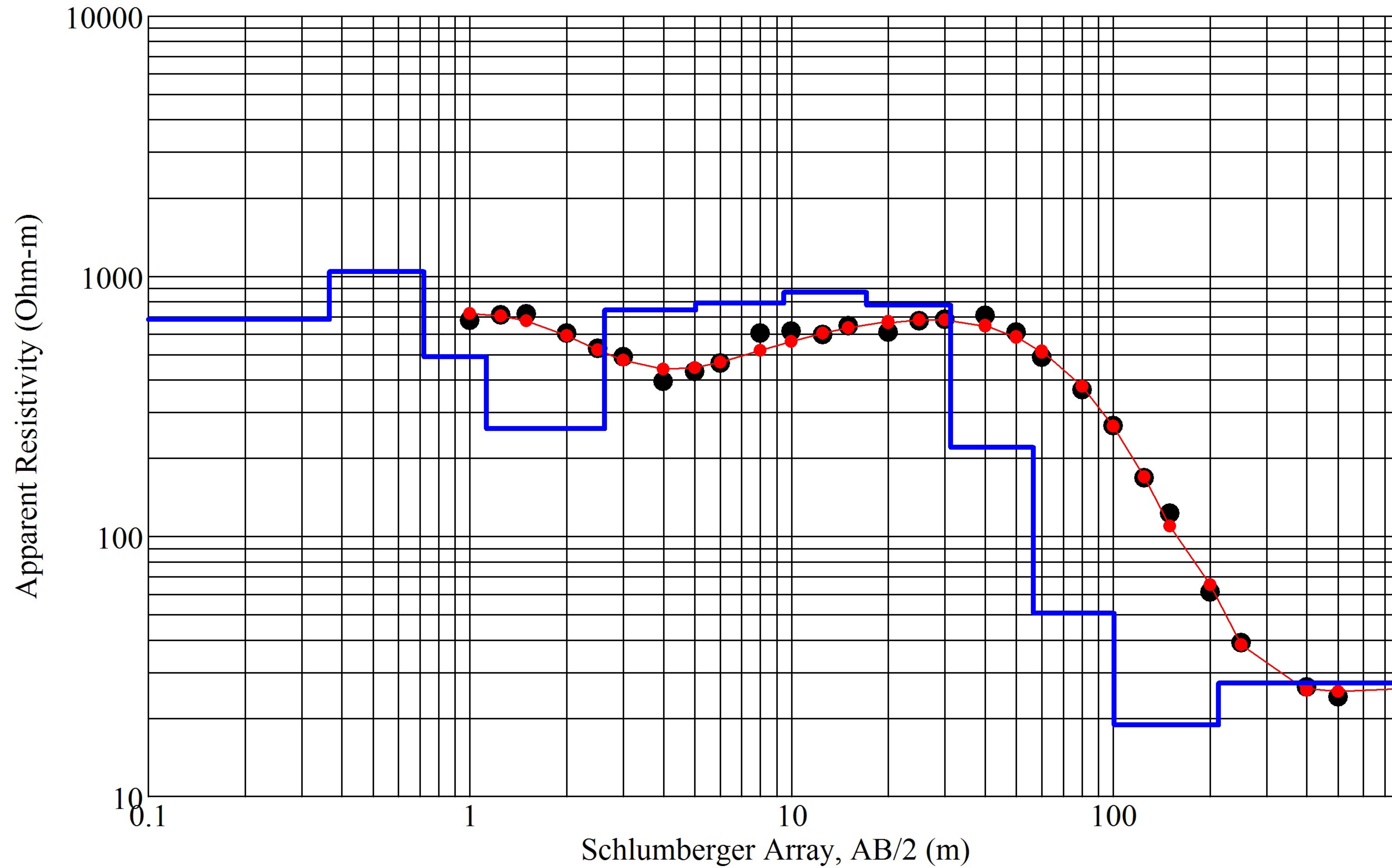
### SEV 03 - Measured and Modeled Data



### Layered Resistivity Model

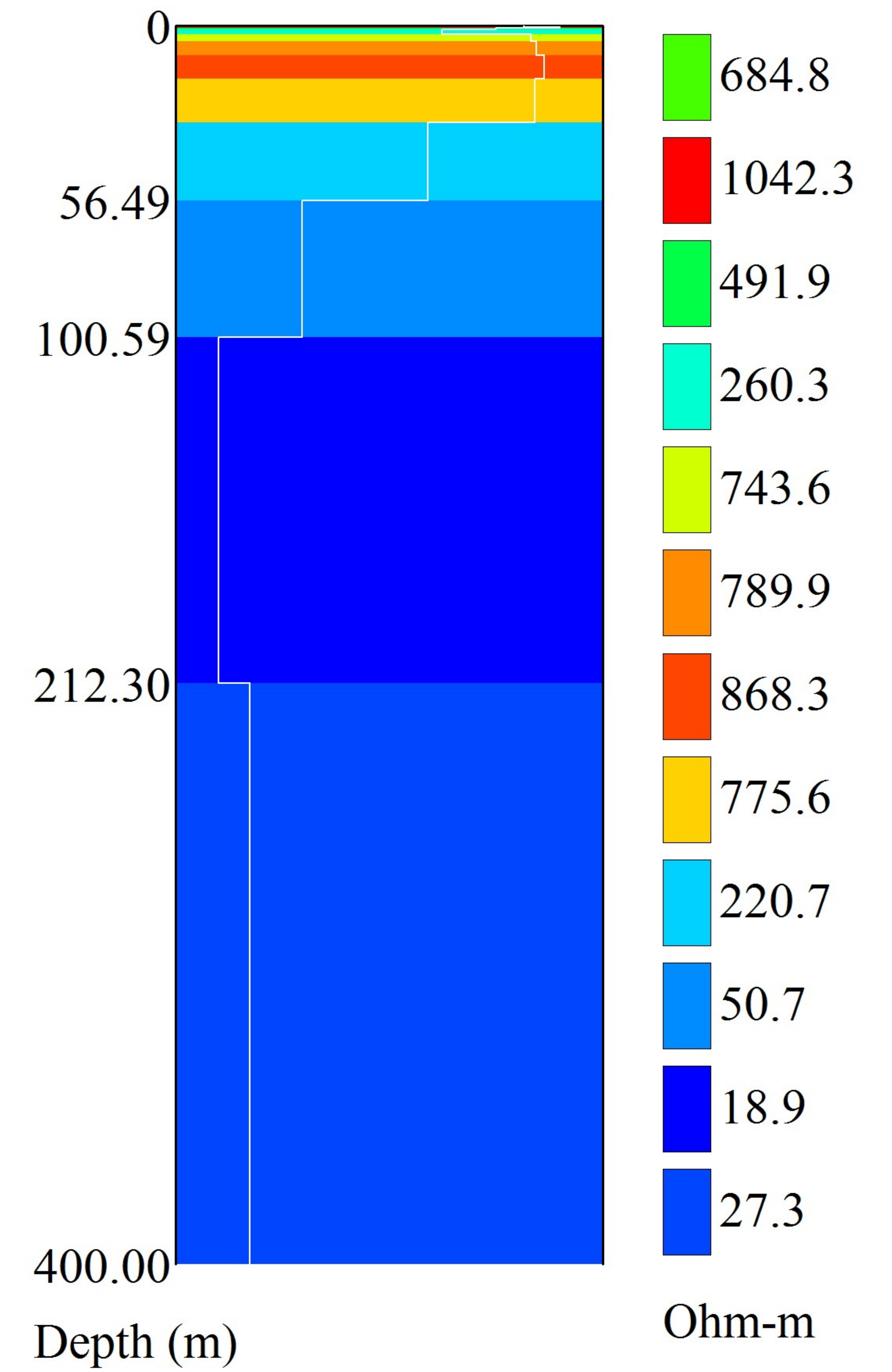


### SEV 04 - Measured and Modeled Data

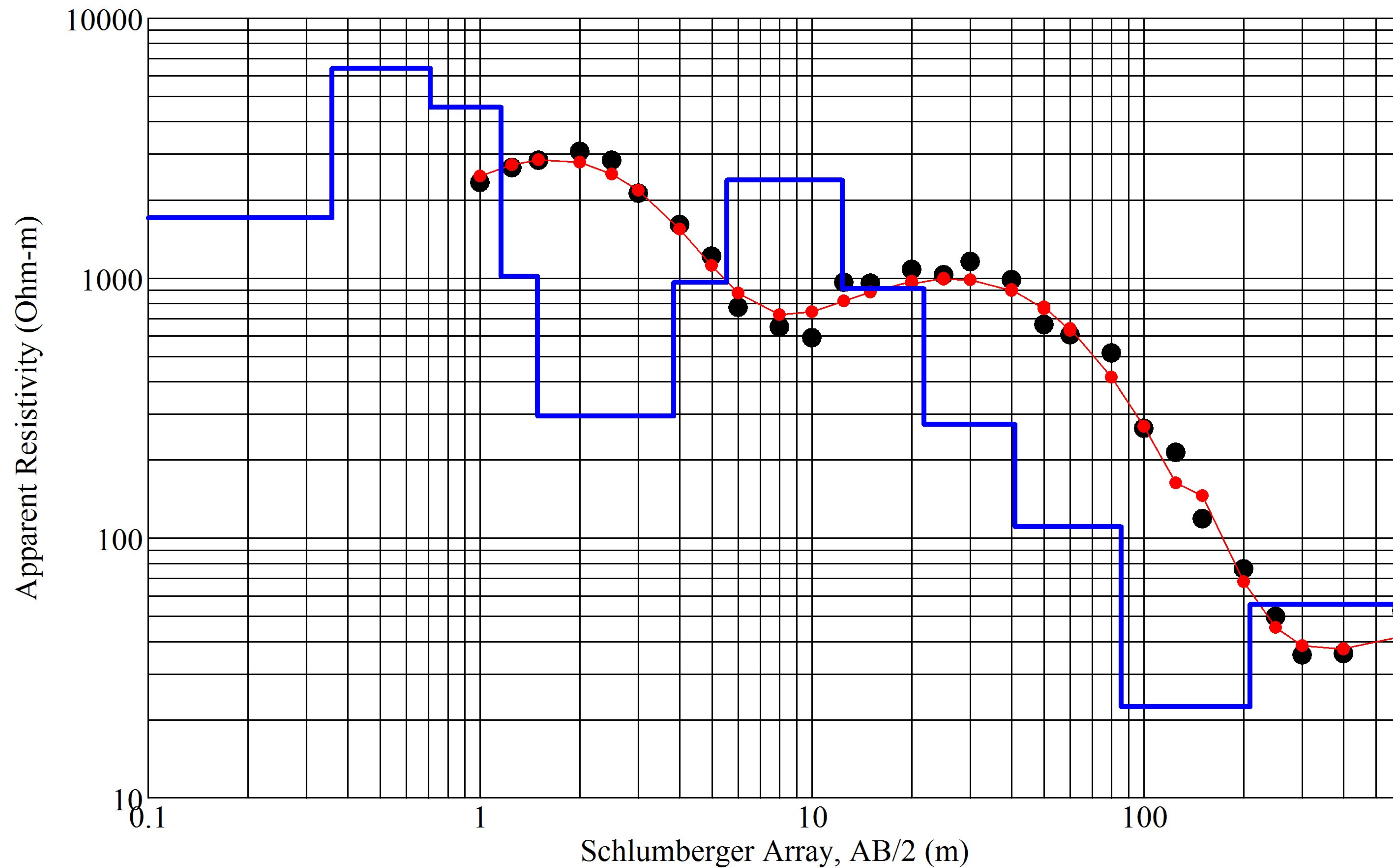


Iteration = 8 RMS = 5.77%

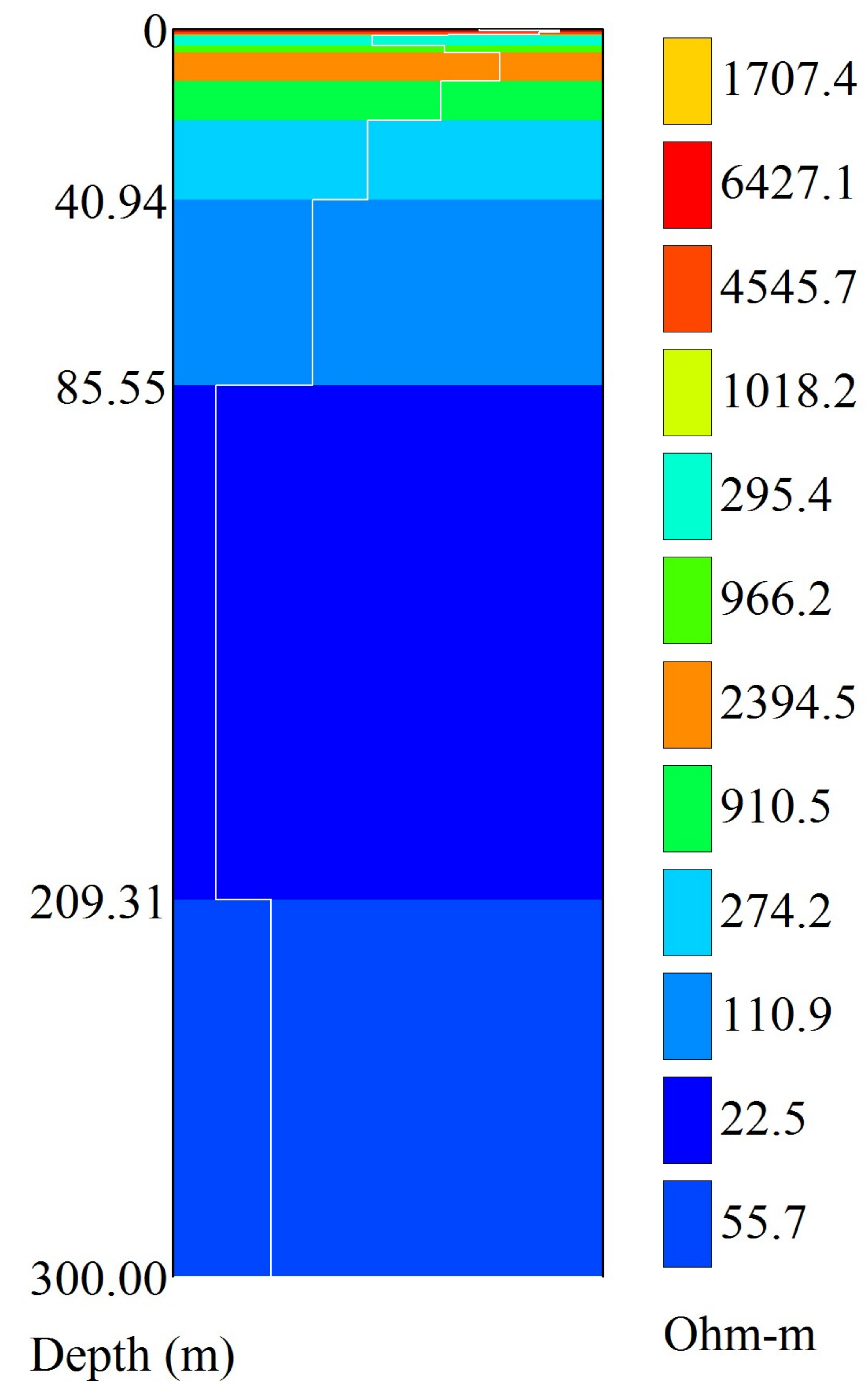
### Layered Resistivity Model



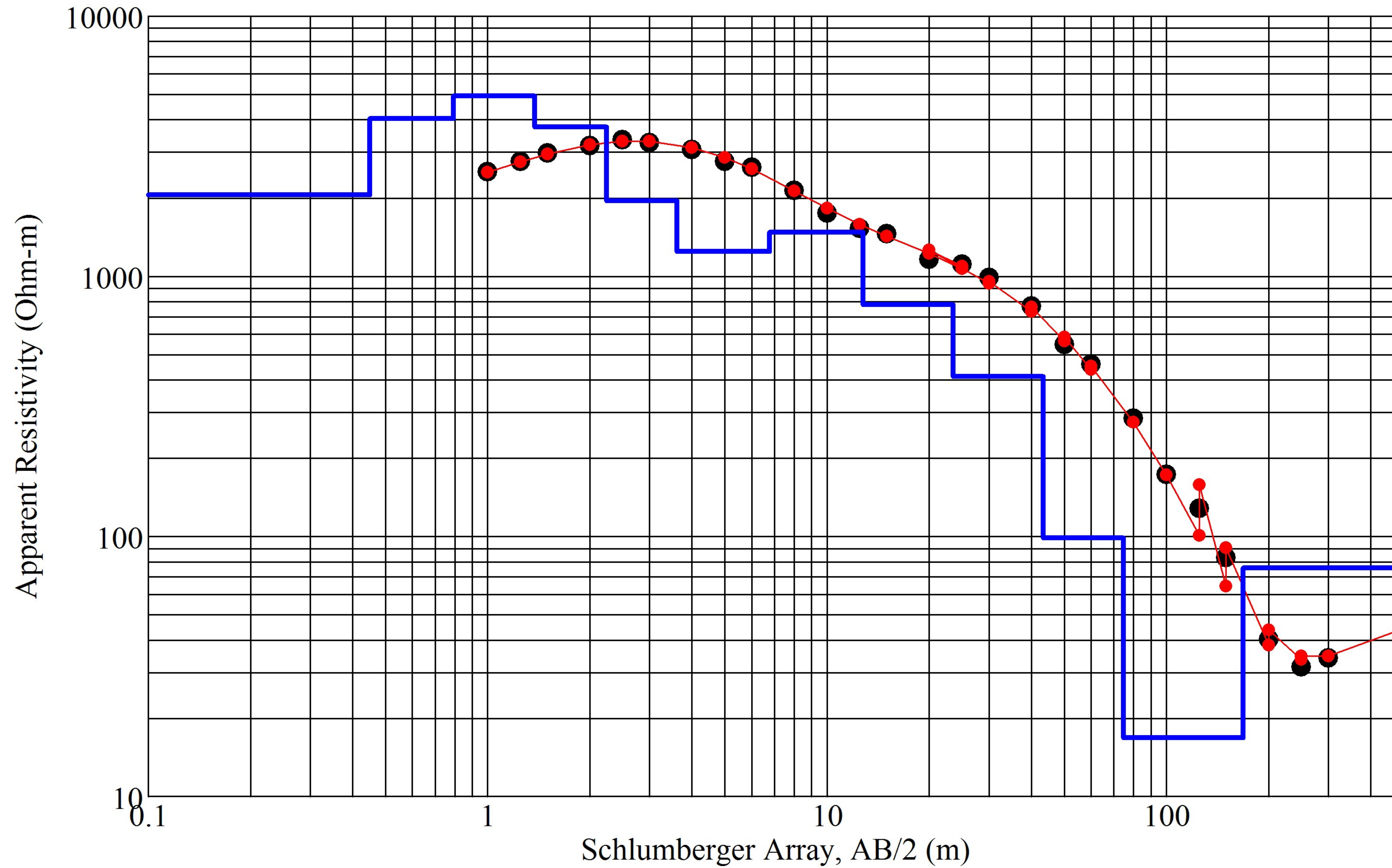
### SEV 05 - Measured and Modeled Data



### Layered Resistivity Model

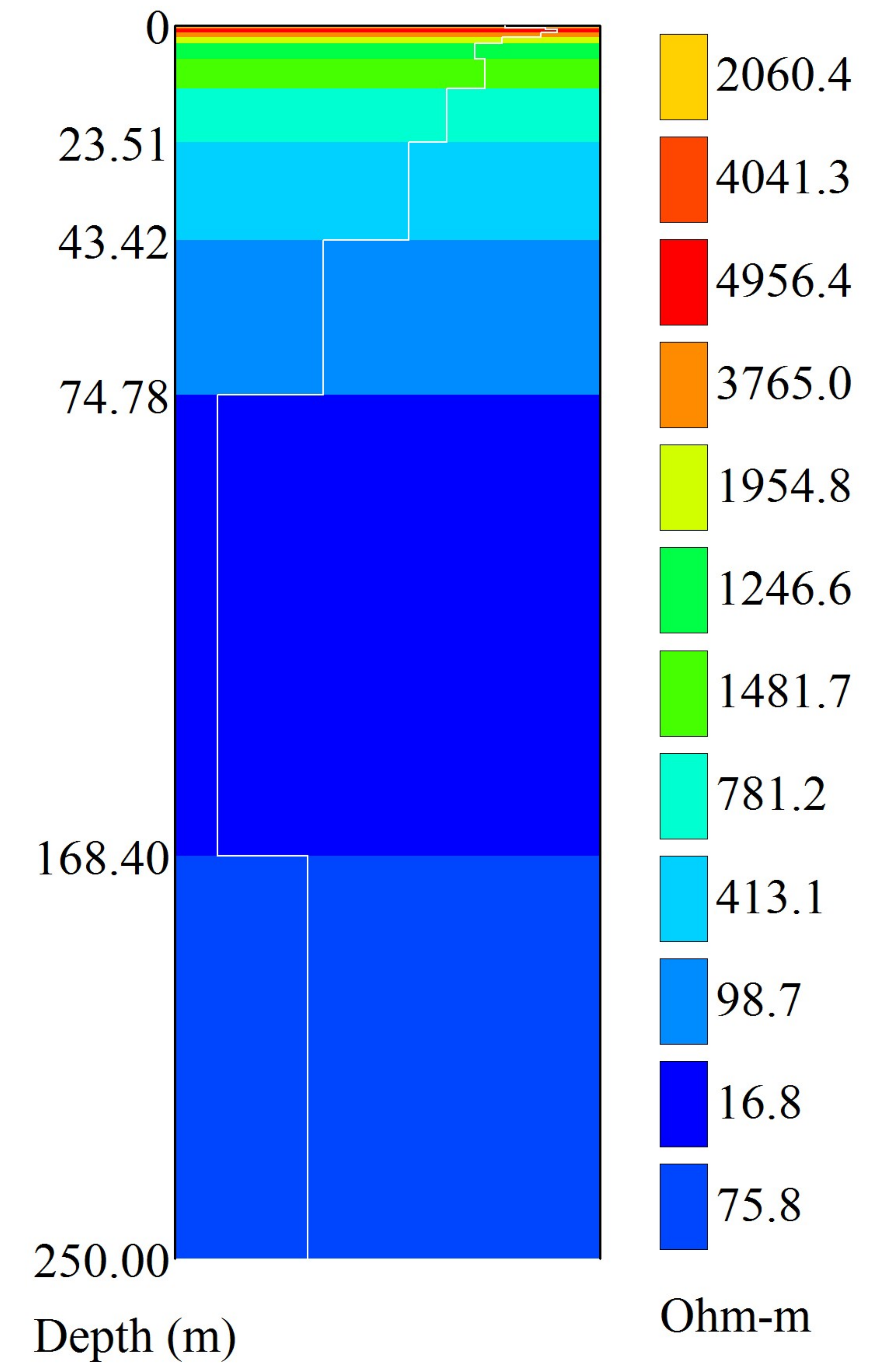


### SEV 06 - Measured and Modeled Data



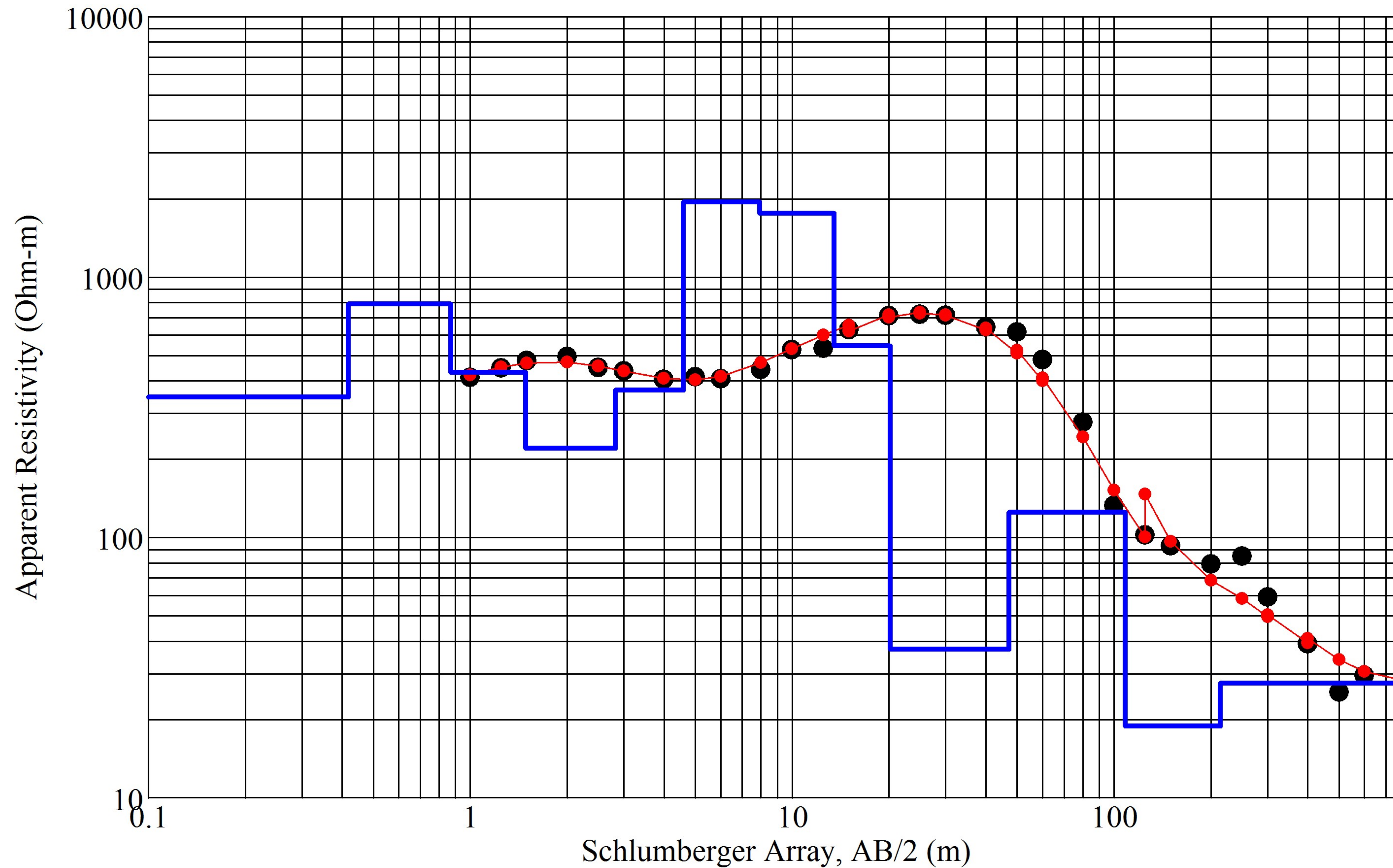
Iteration = 8 RMS = 7.61%

### Layered Resistivity Model



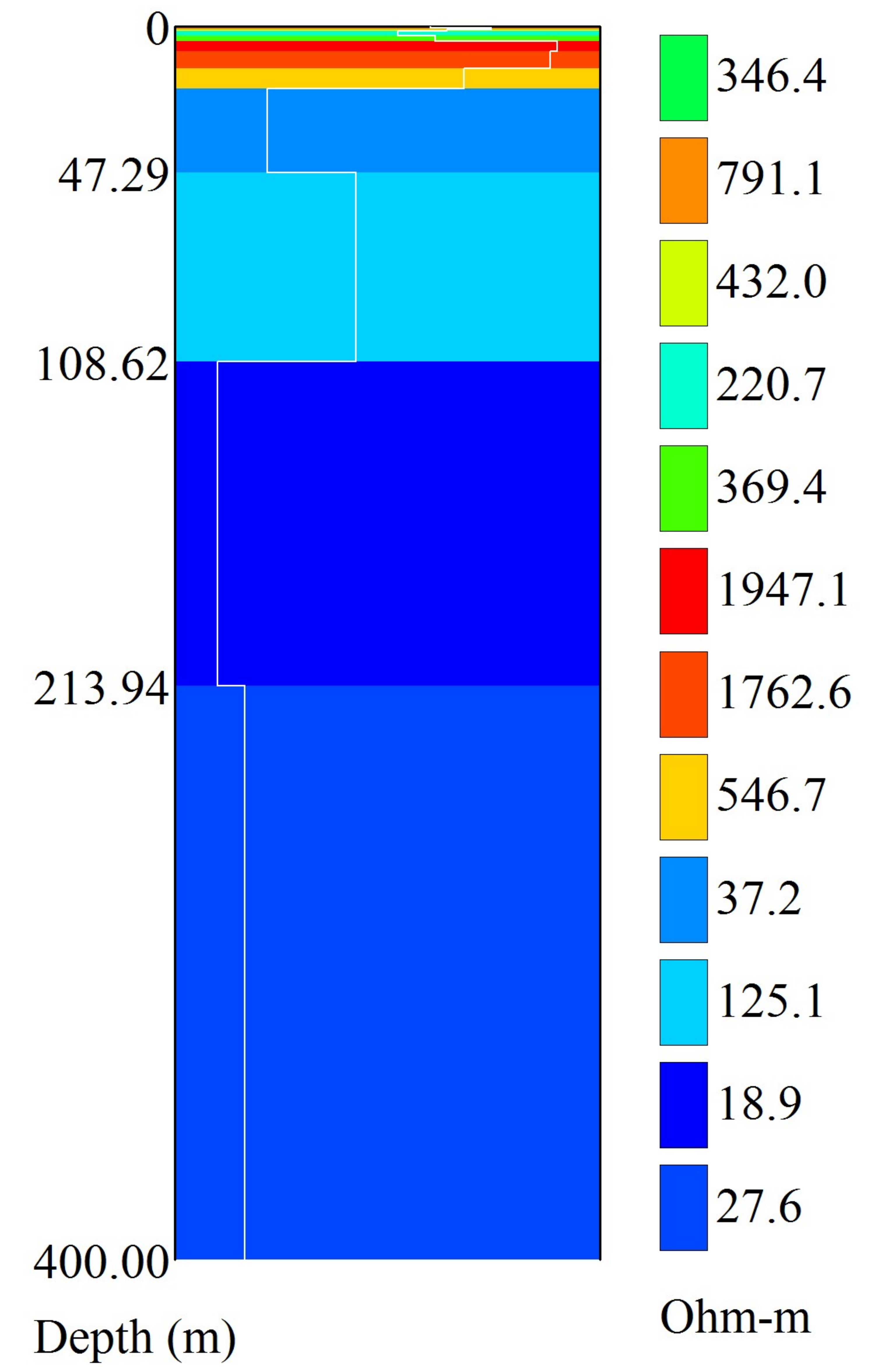


# SEV 07 - Measured and Modeled Data

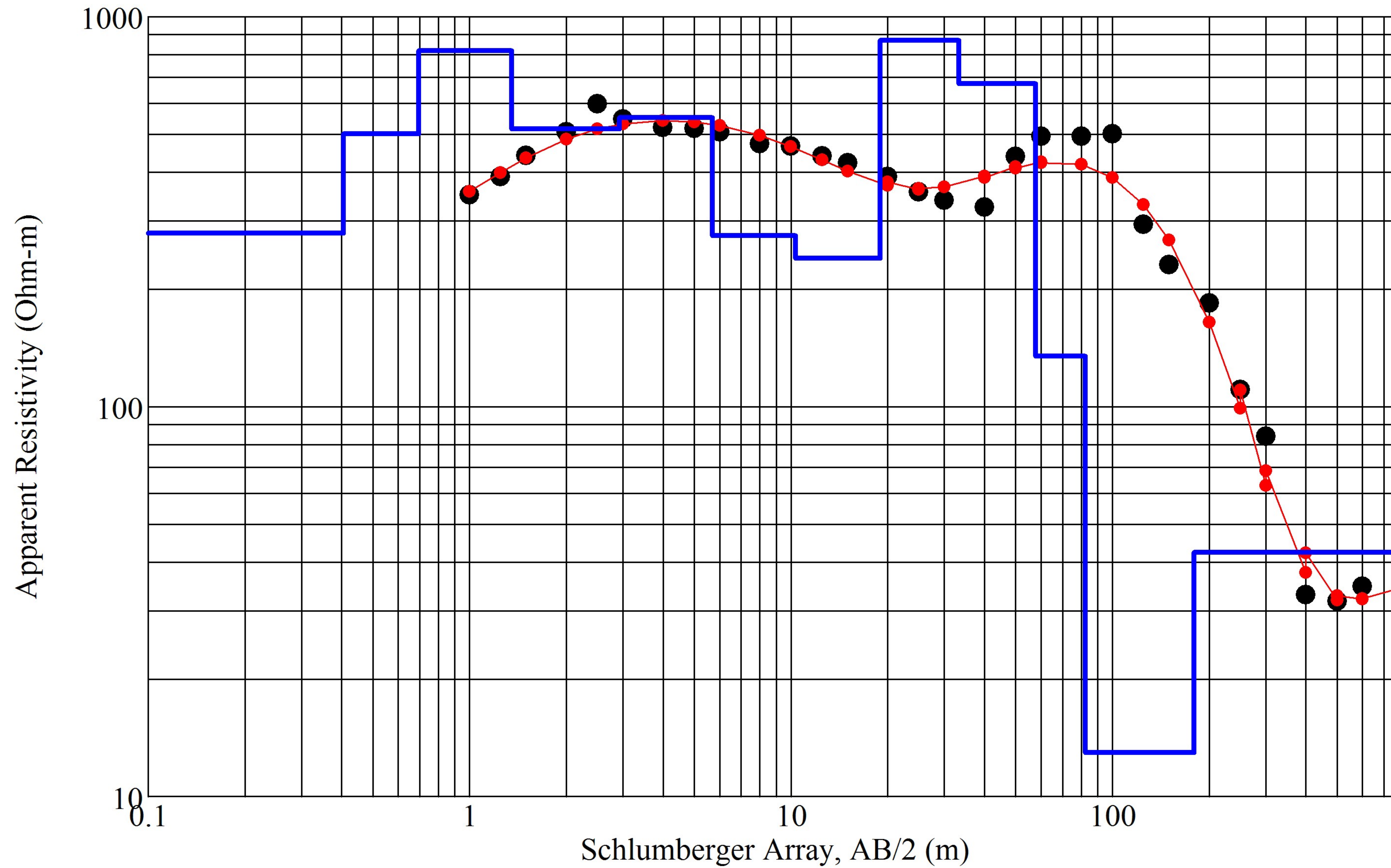


Iteration = 8 RMS = 13.88%

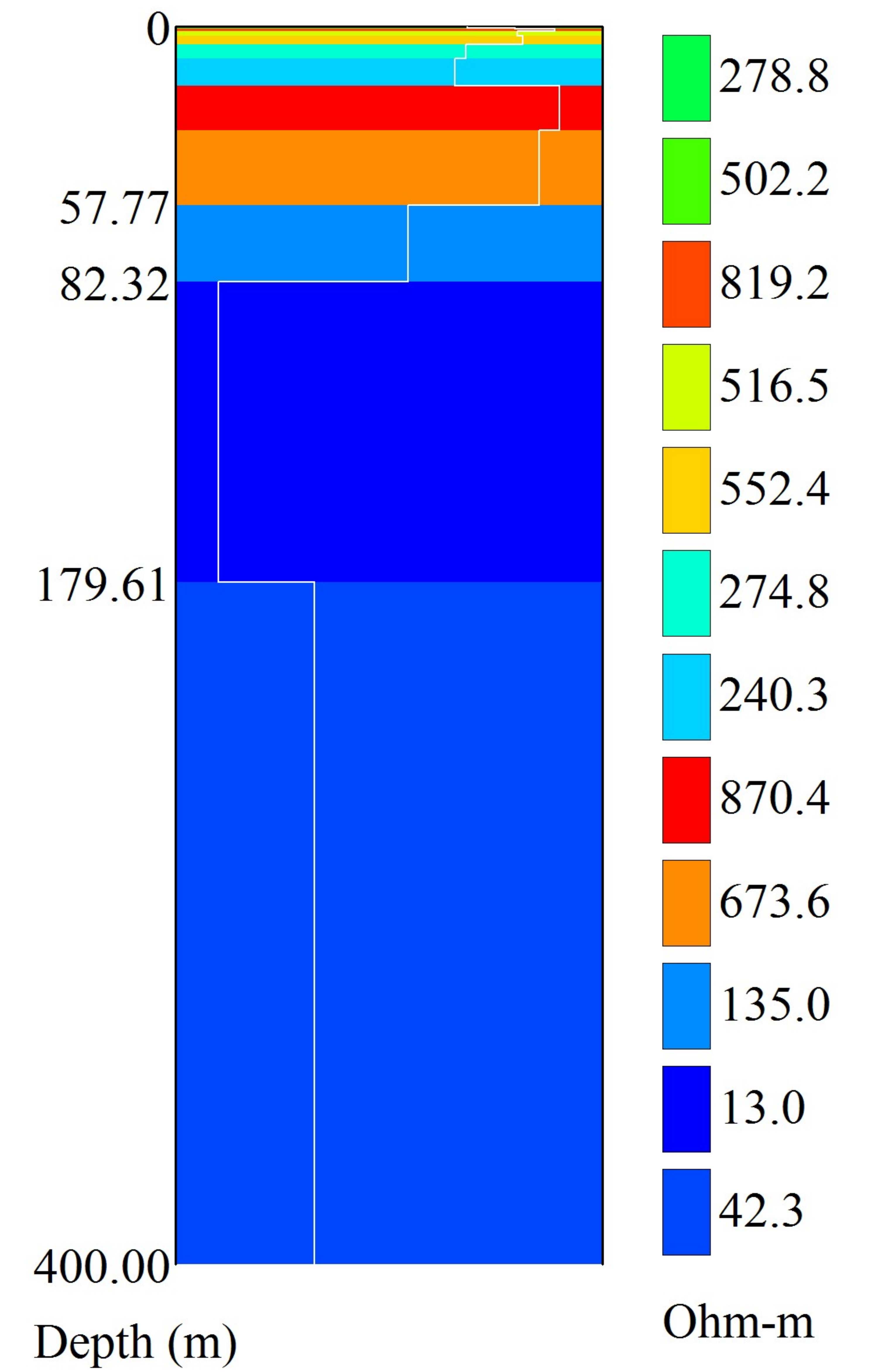
# Layered Resistivity Model



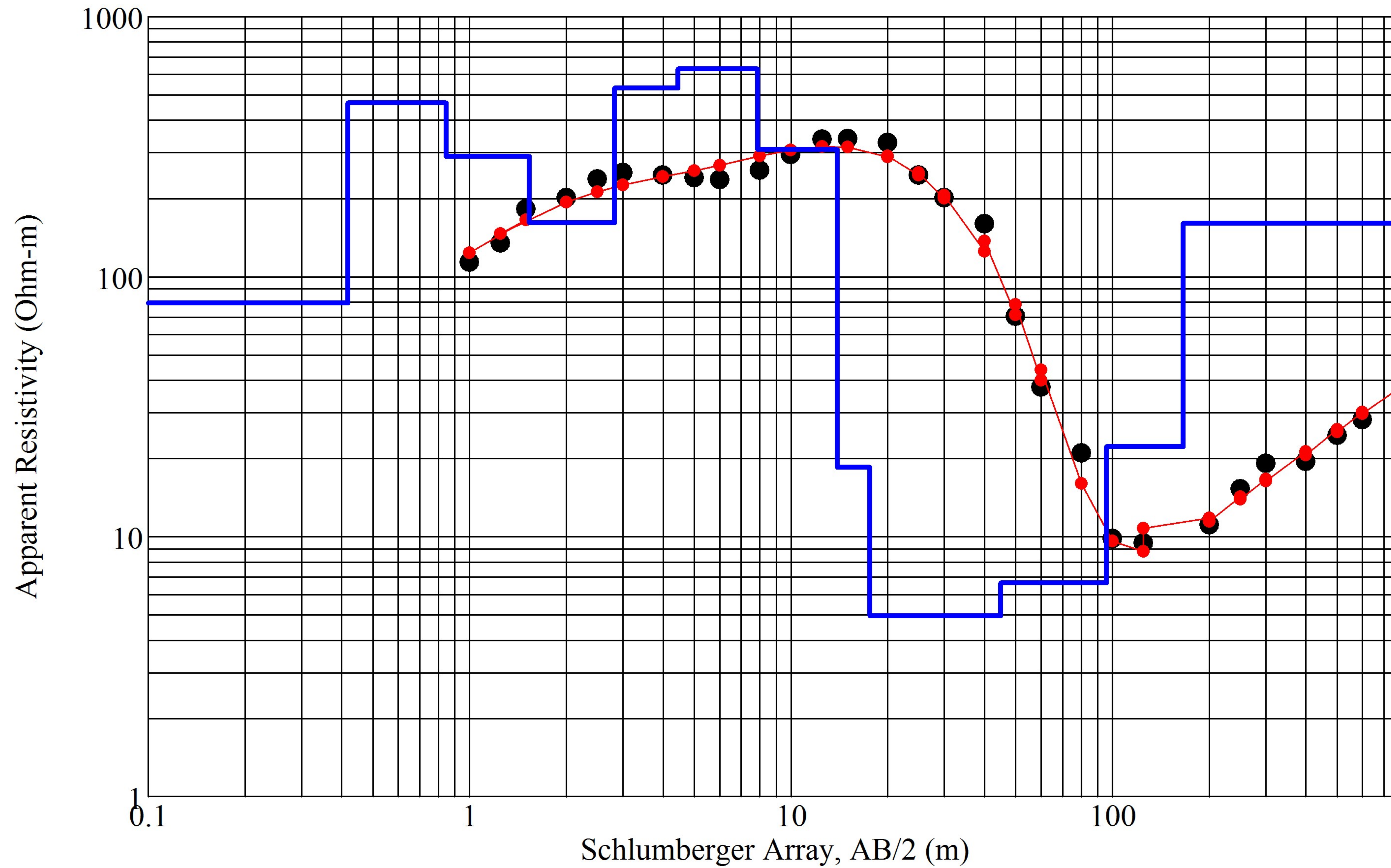
### SEV 08 - Measured and Modeled Data



### Layered Resistivity Model

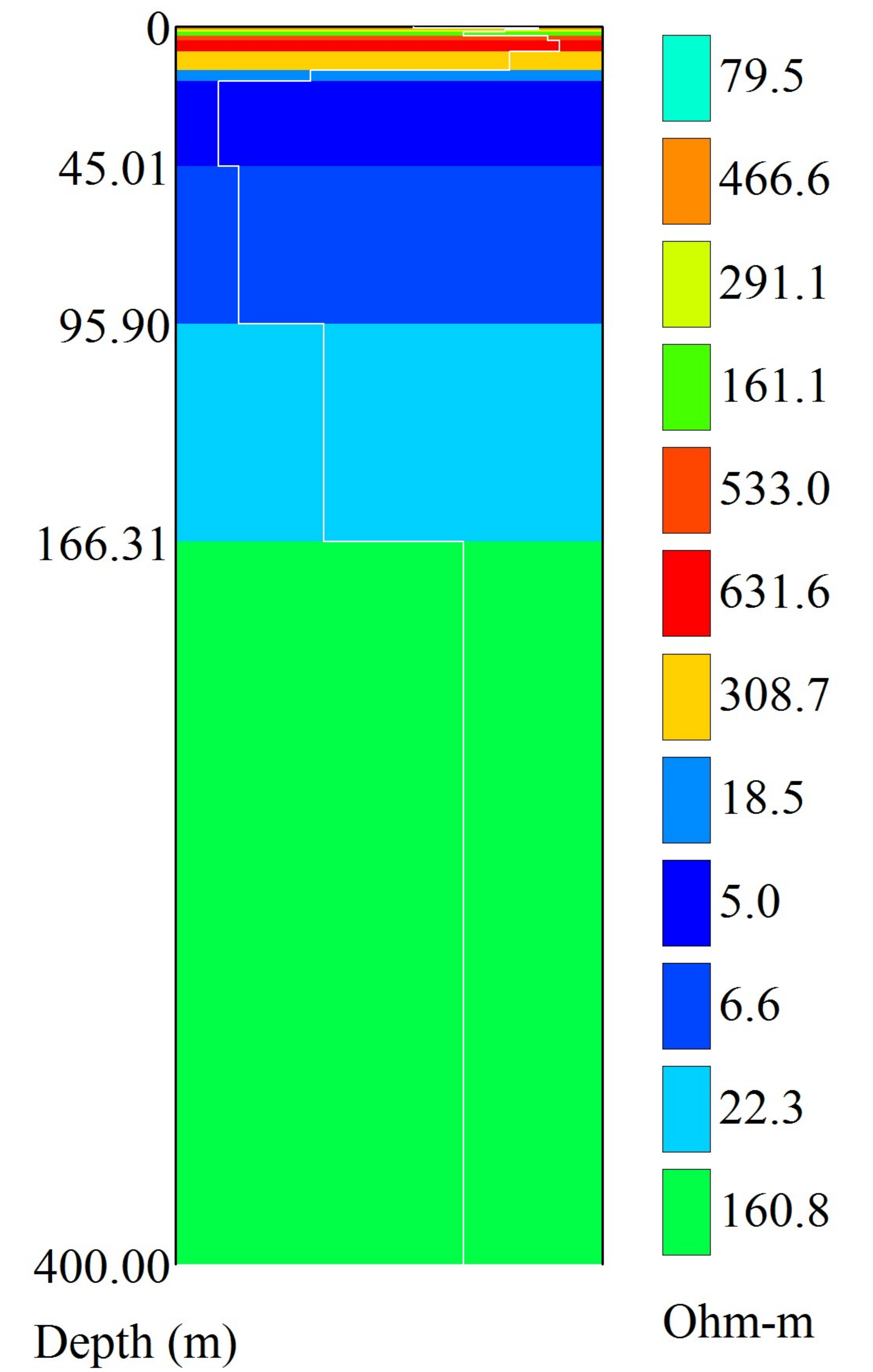


# SEV 09 - Measured and Modeled Data

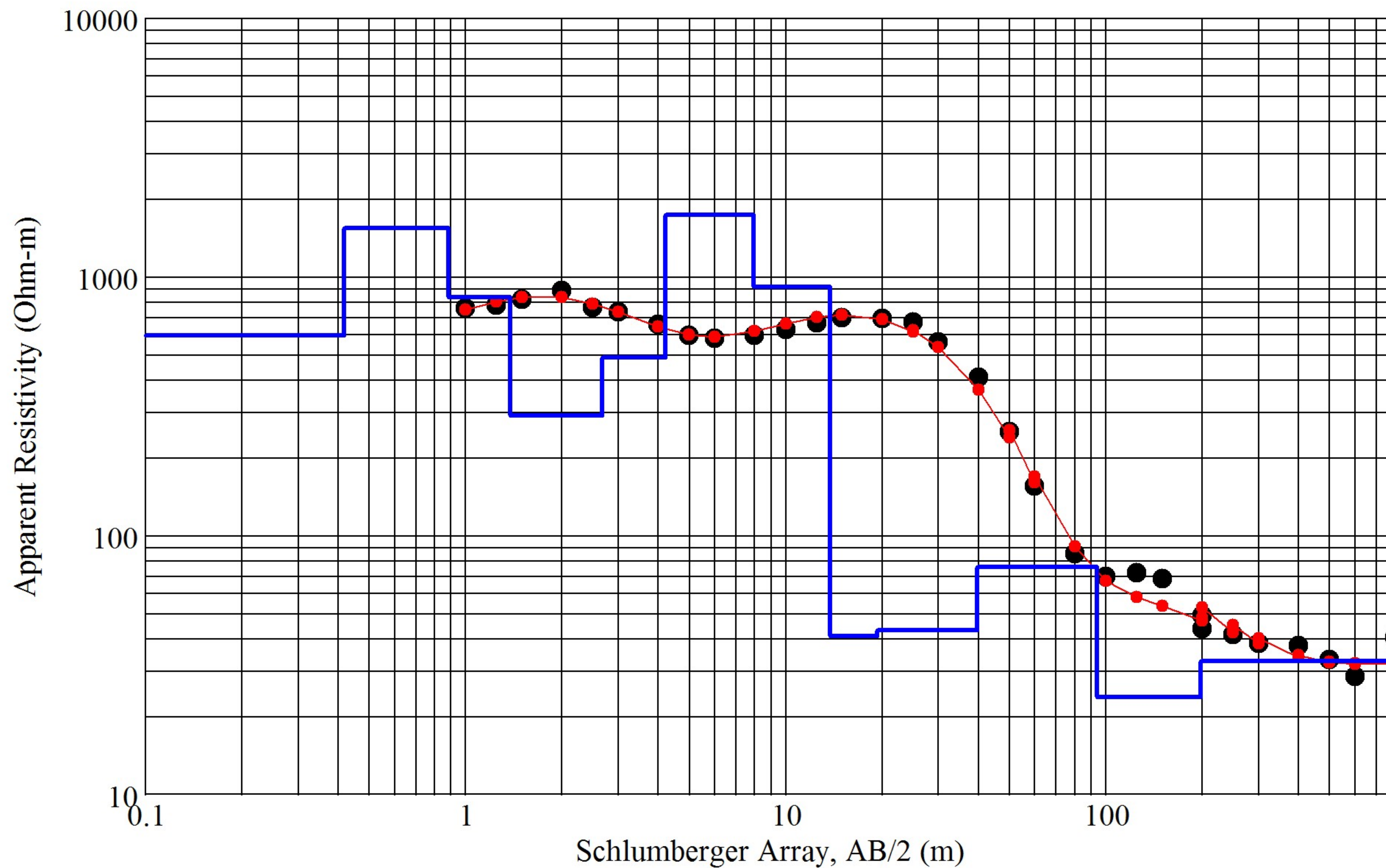


Iteration = 8 RMS = 9.78%

# Layered Resistivity Model

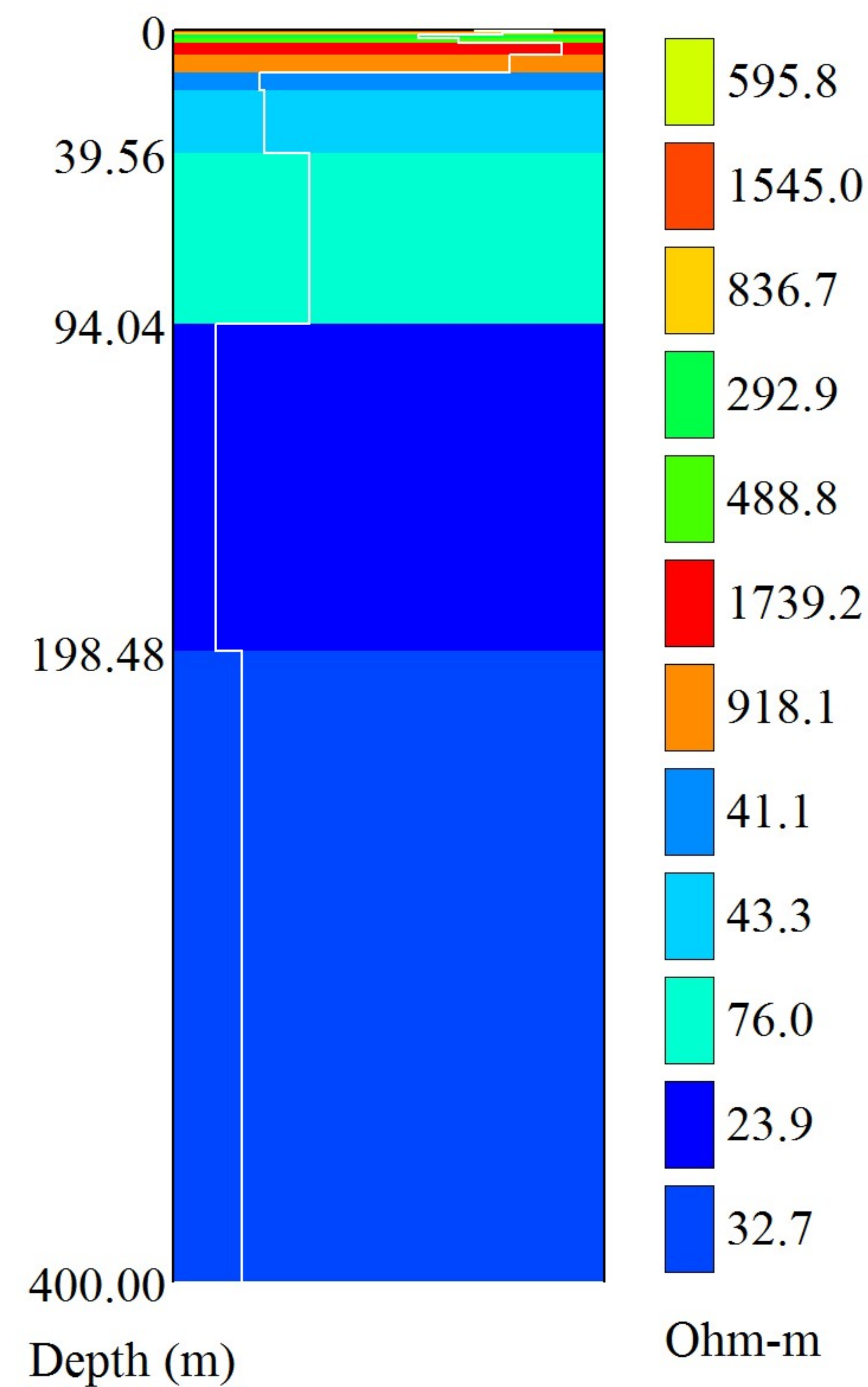


# SEV 10 C - Measured and Modeled Data

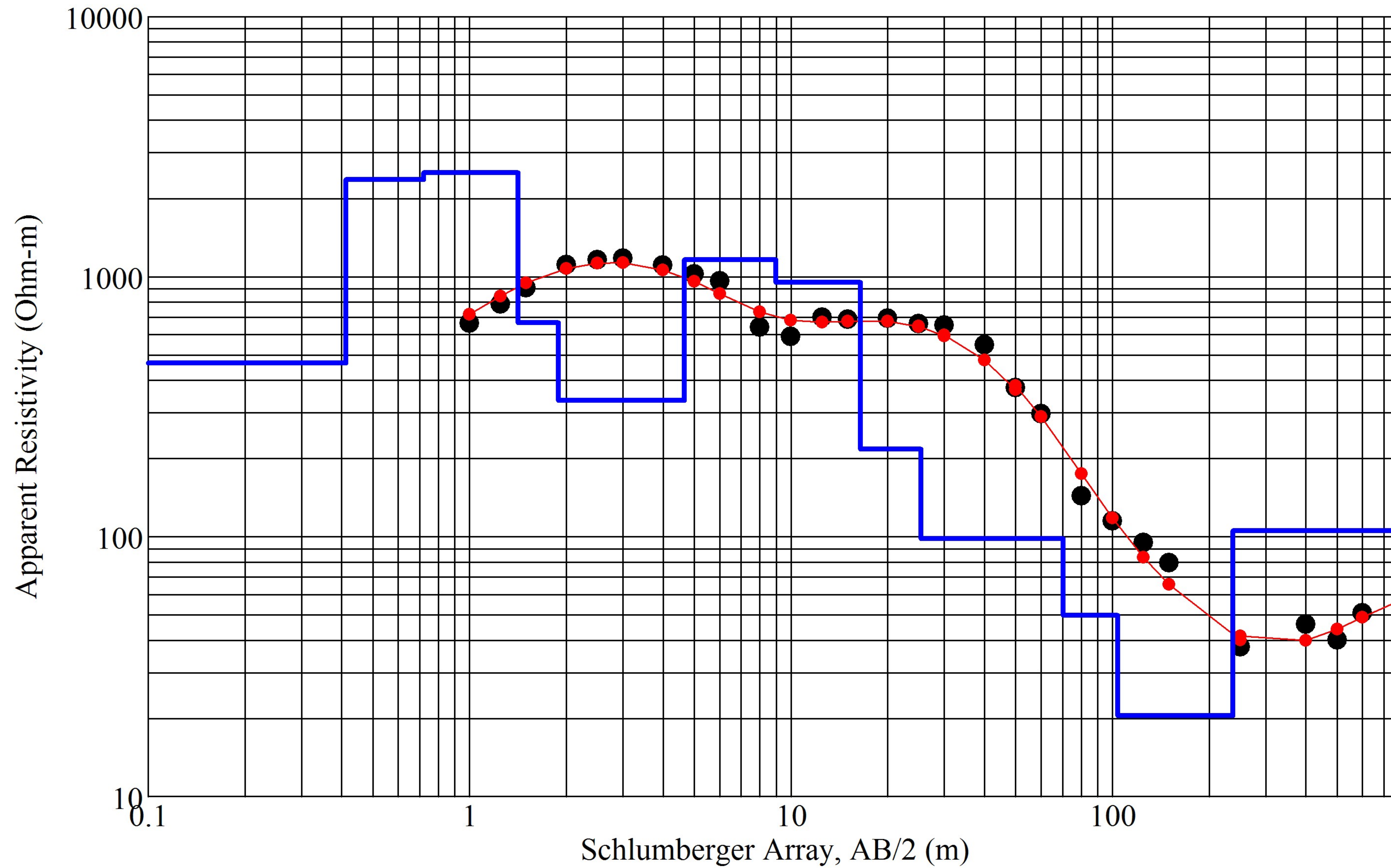


Iteration = 8 RMS = 8.40%

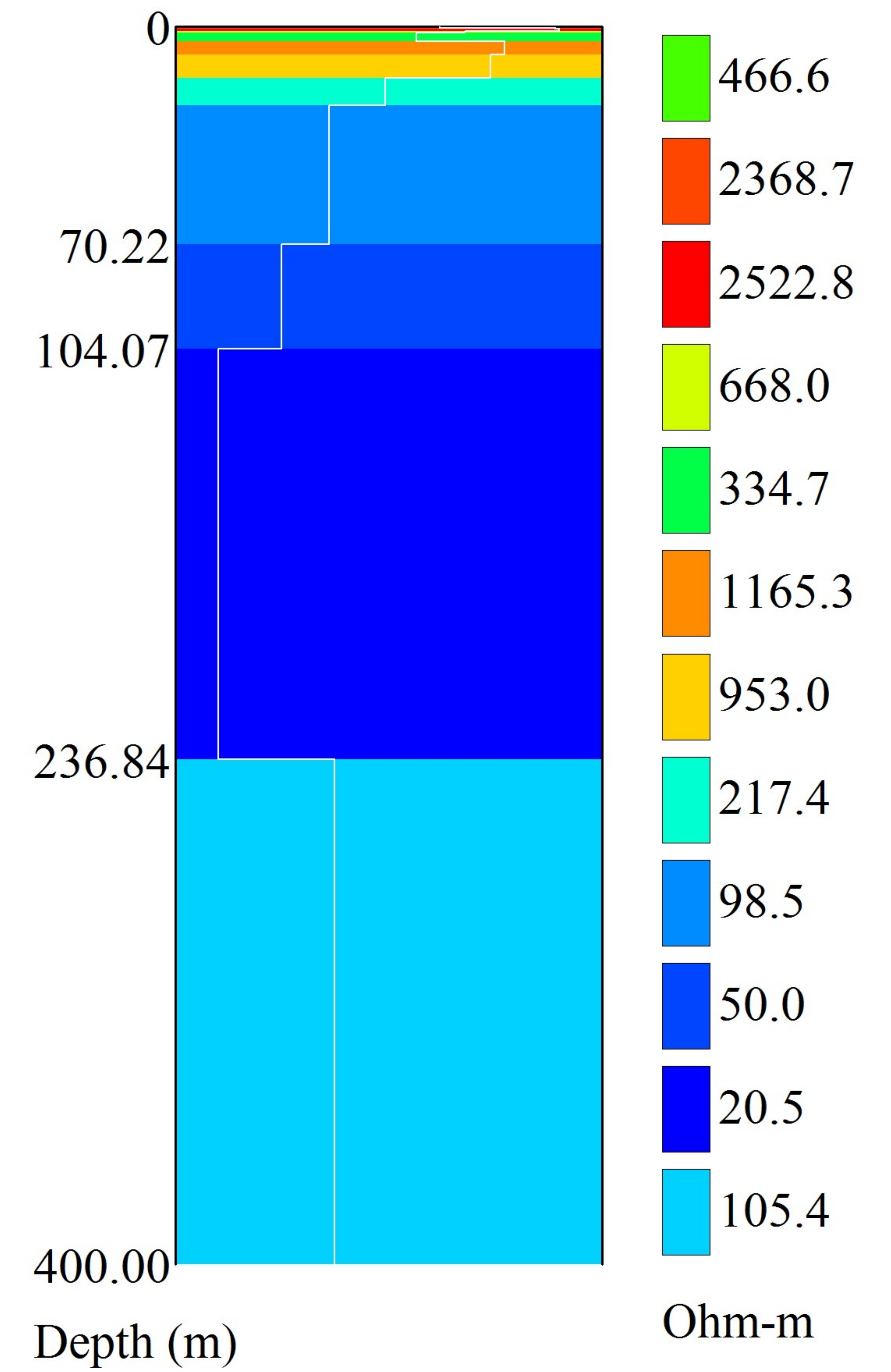
# Layered Resistivity Model



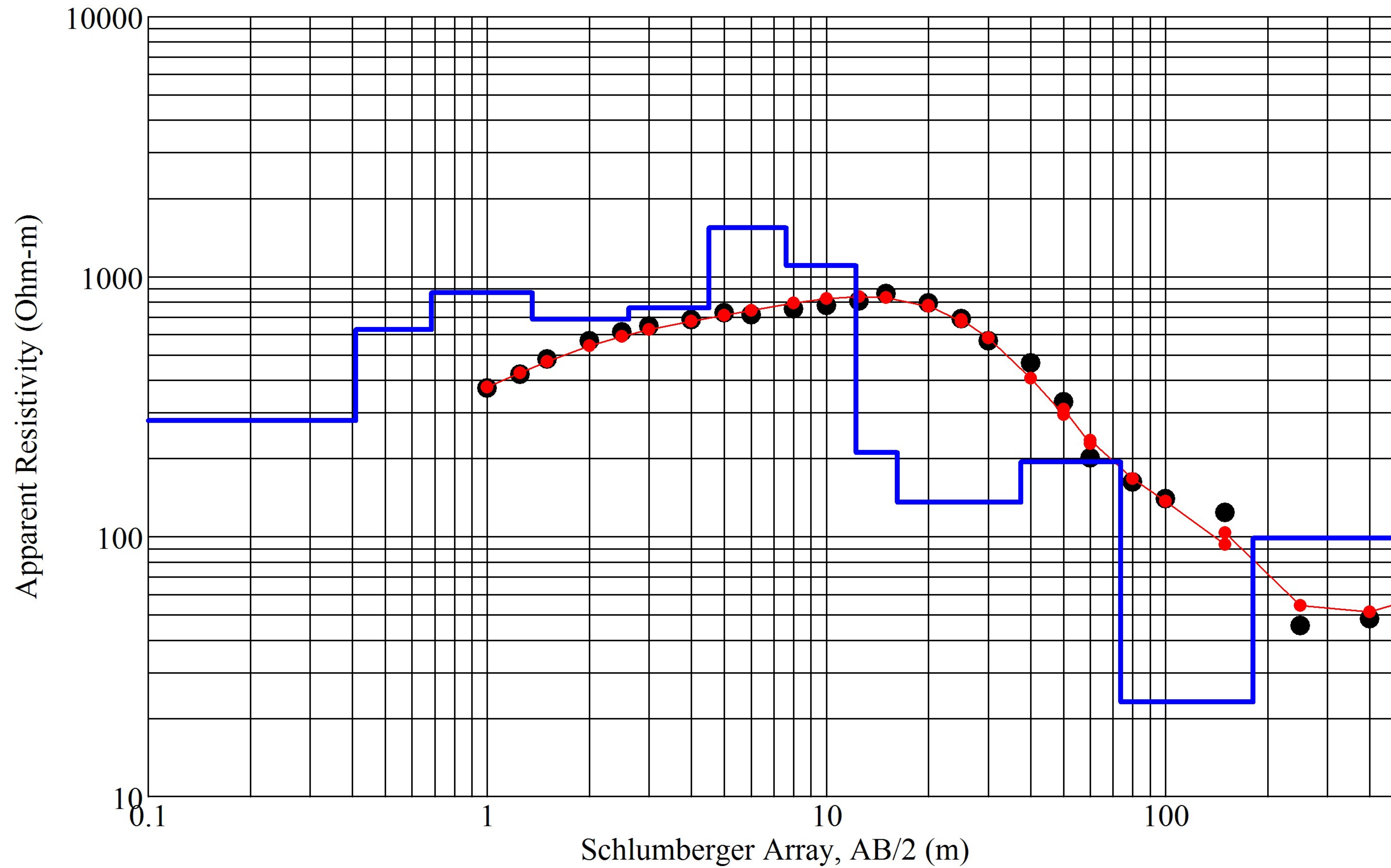
### SEV 11 - Measured and Modeled Data



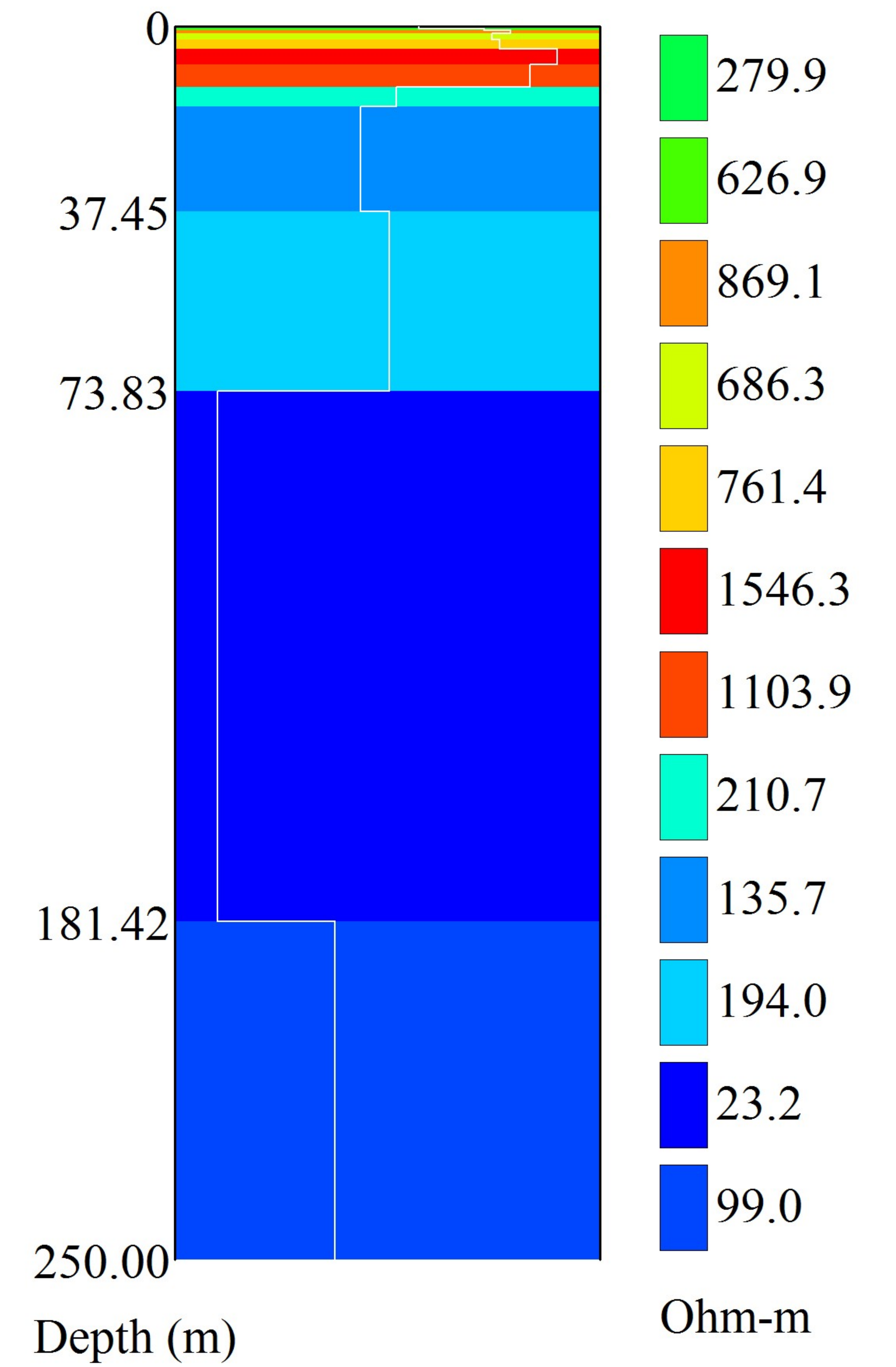
### Layered Resistivity Model



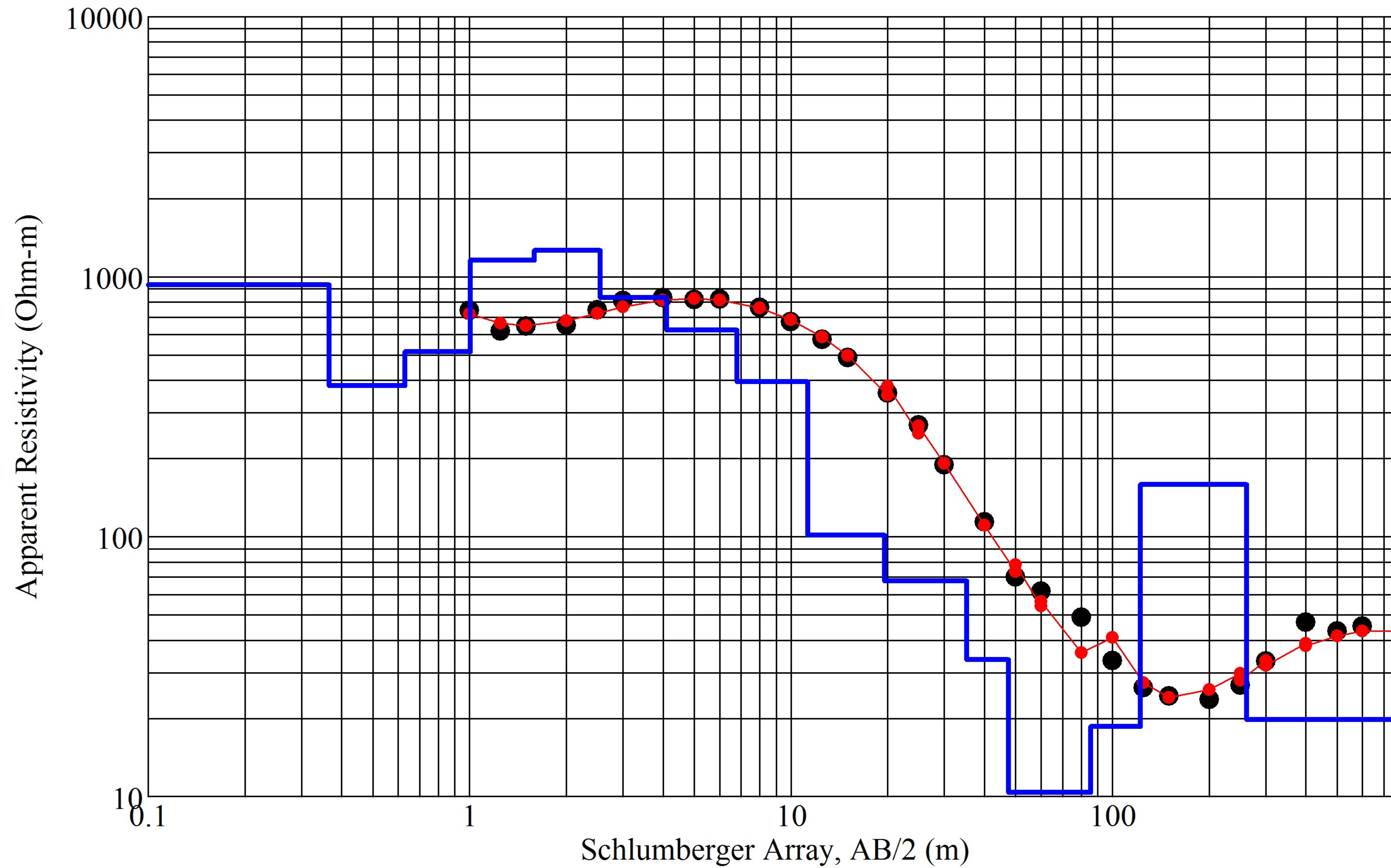
### SEV 12 - Measured and Modeled Data



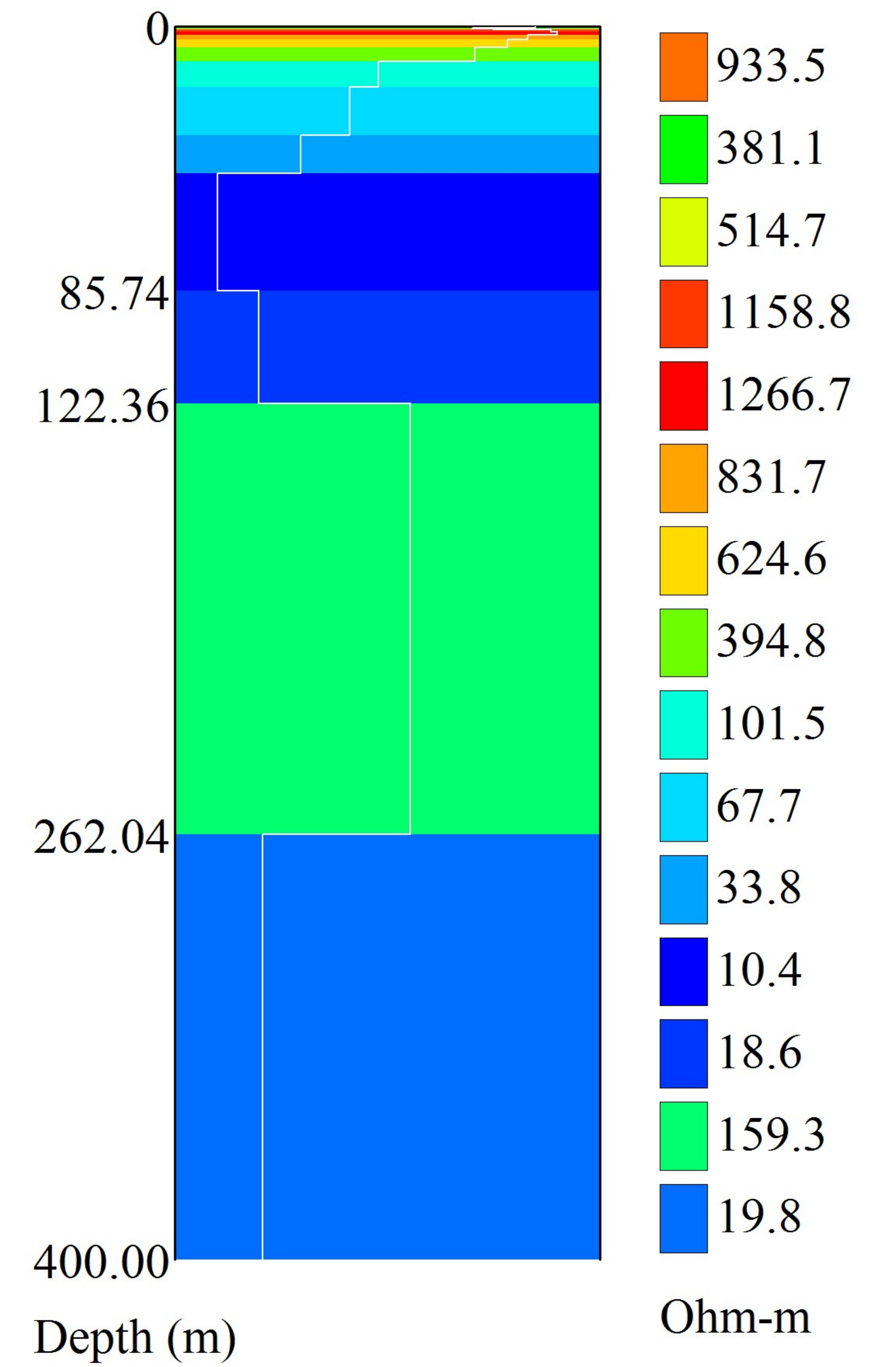
### Layered Resistivity Model



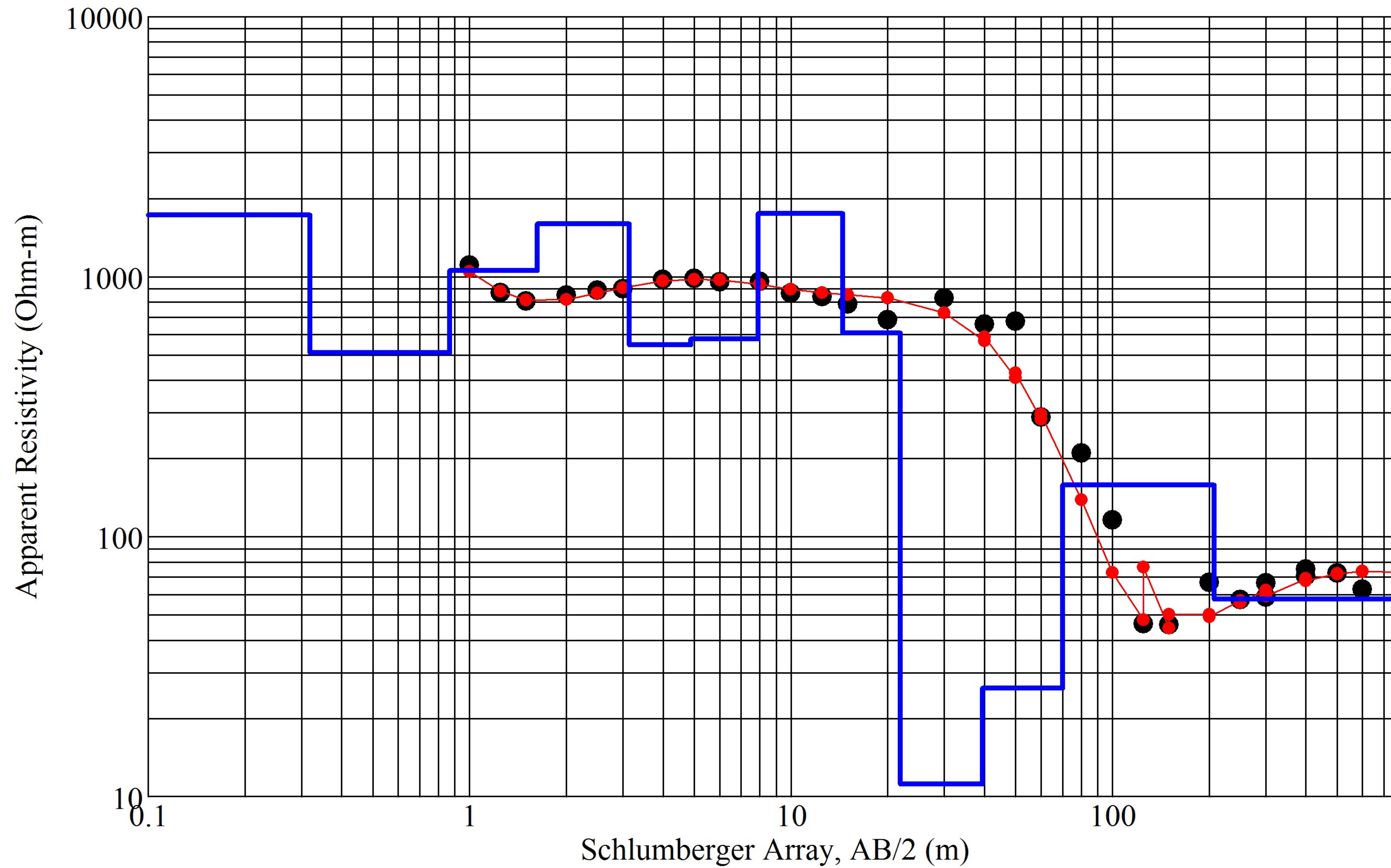
### SEV 13 - Measured and Modeled Data



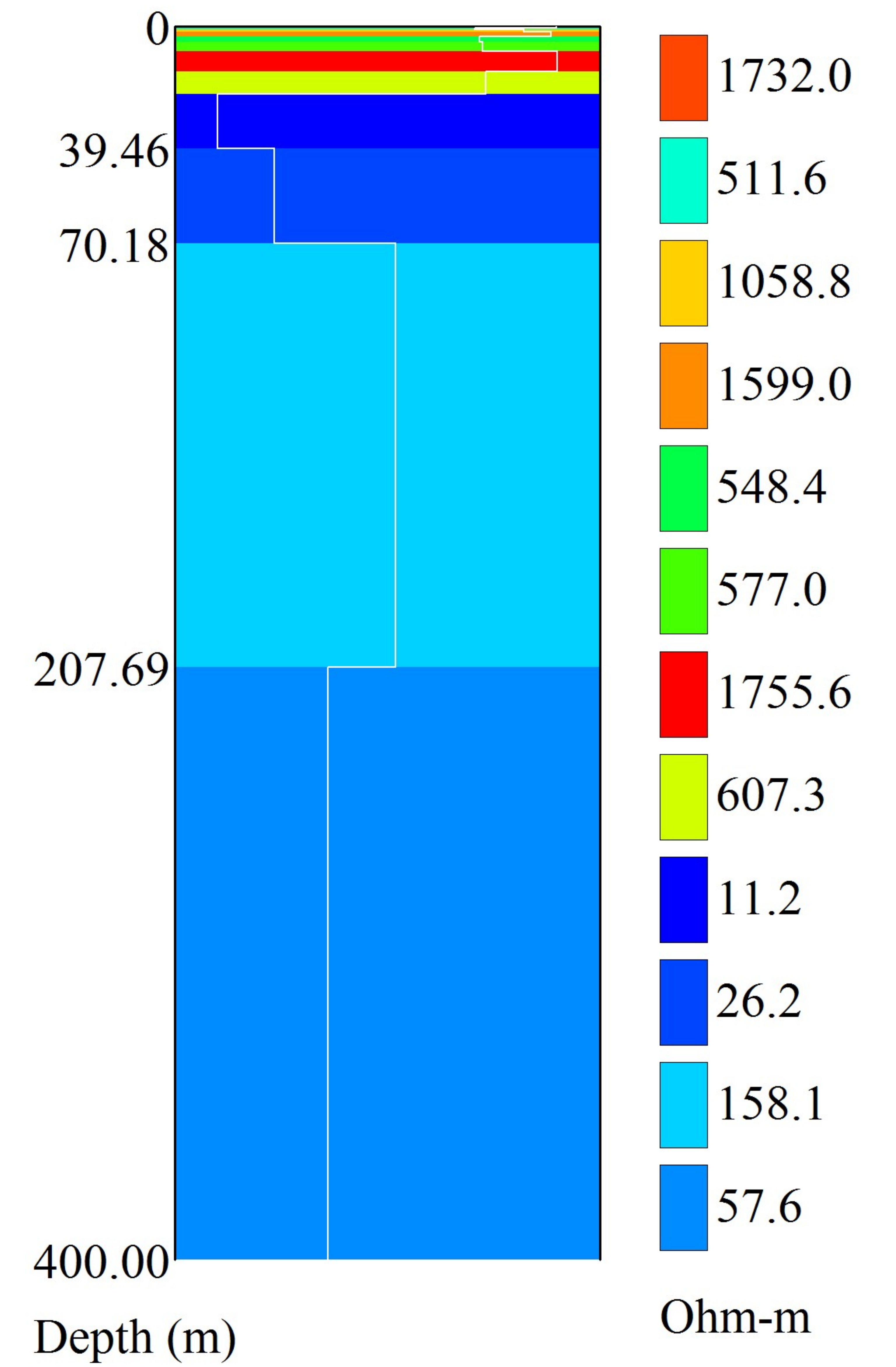
### Layered Resistivity Model



### SEV 14 - Measured and Modeled Data

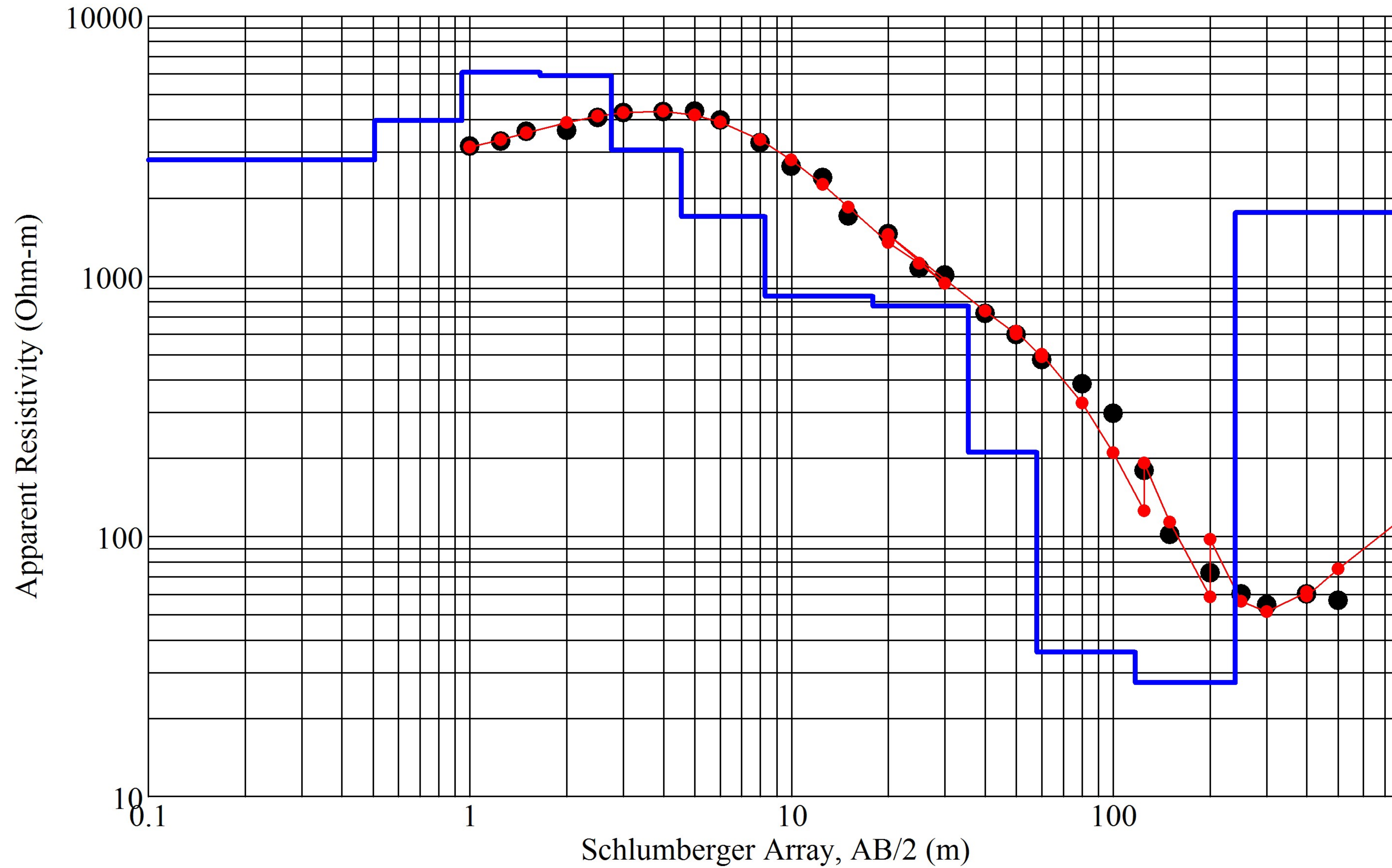


### Layered Resistivity Model

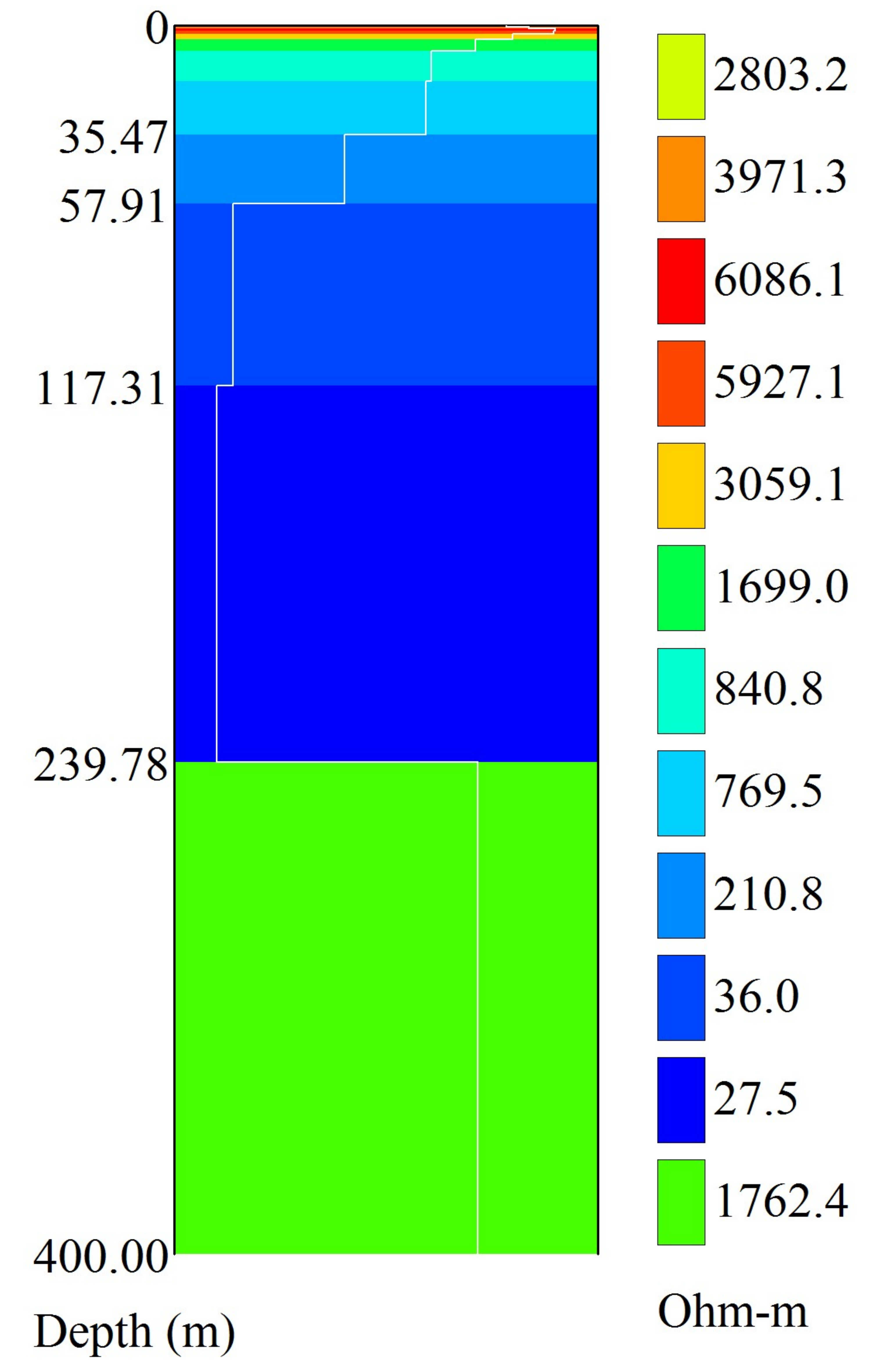




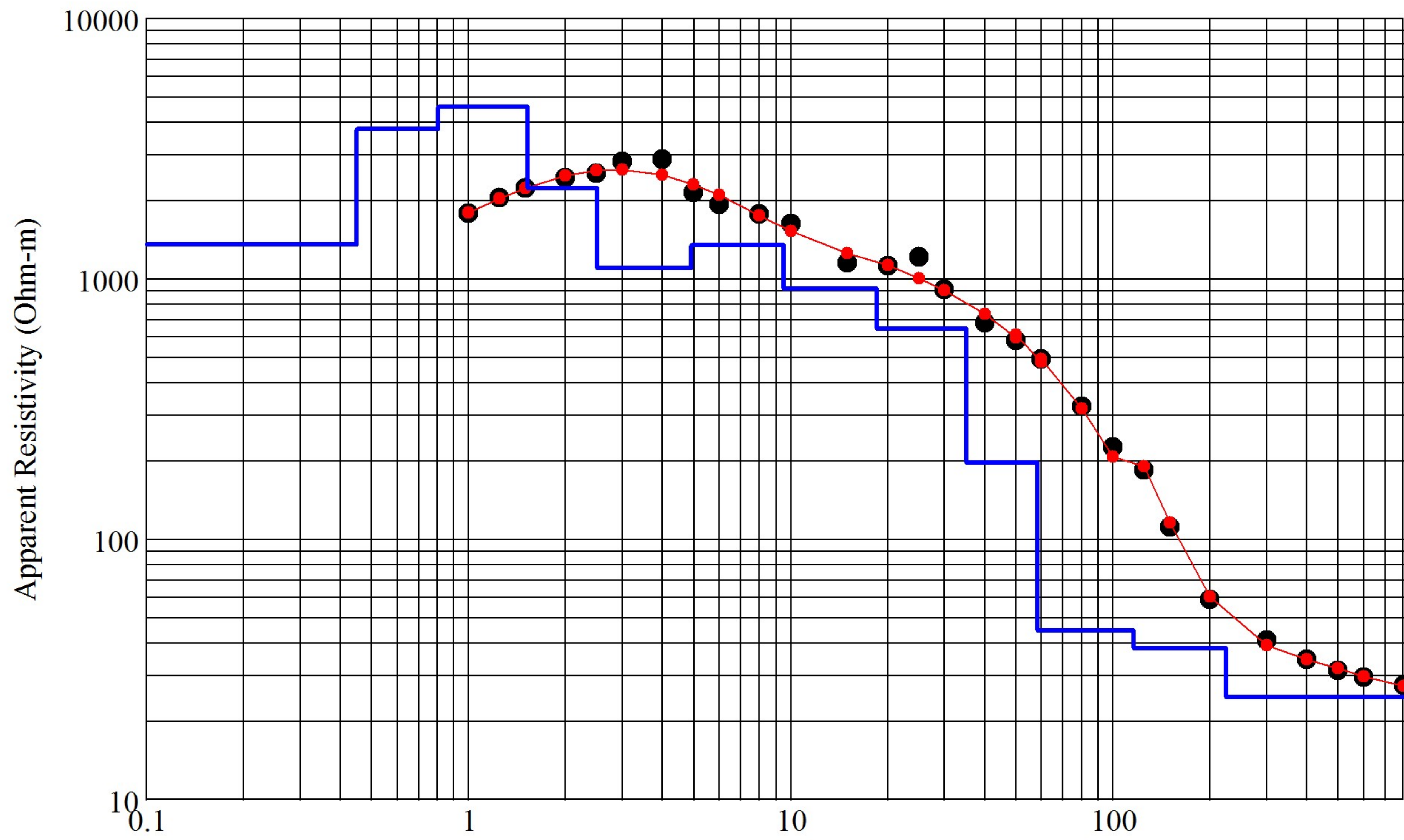
### SEV 15 - Measured and Modeled Data



### Layered Resistivity Model

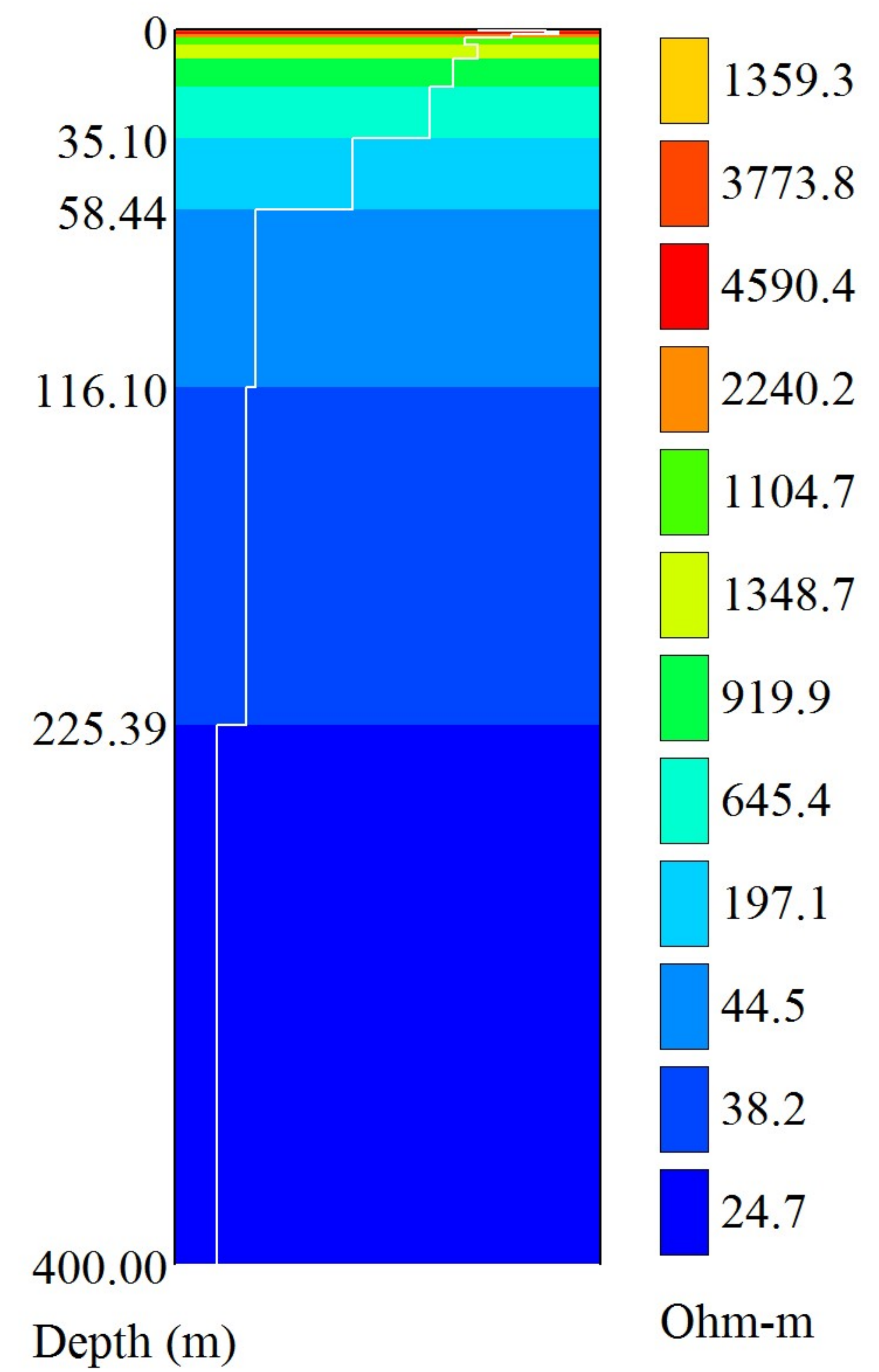


# SEV 16 - Measured and Modeled Data

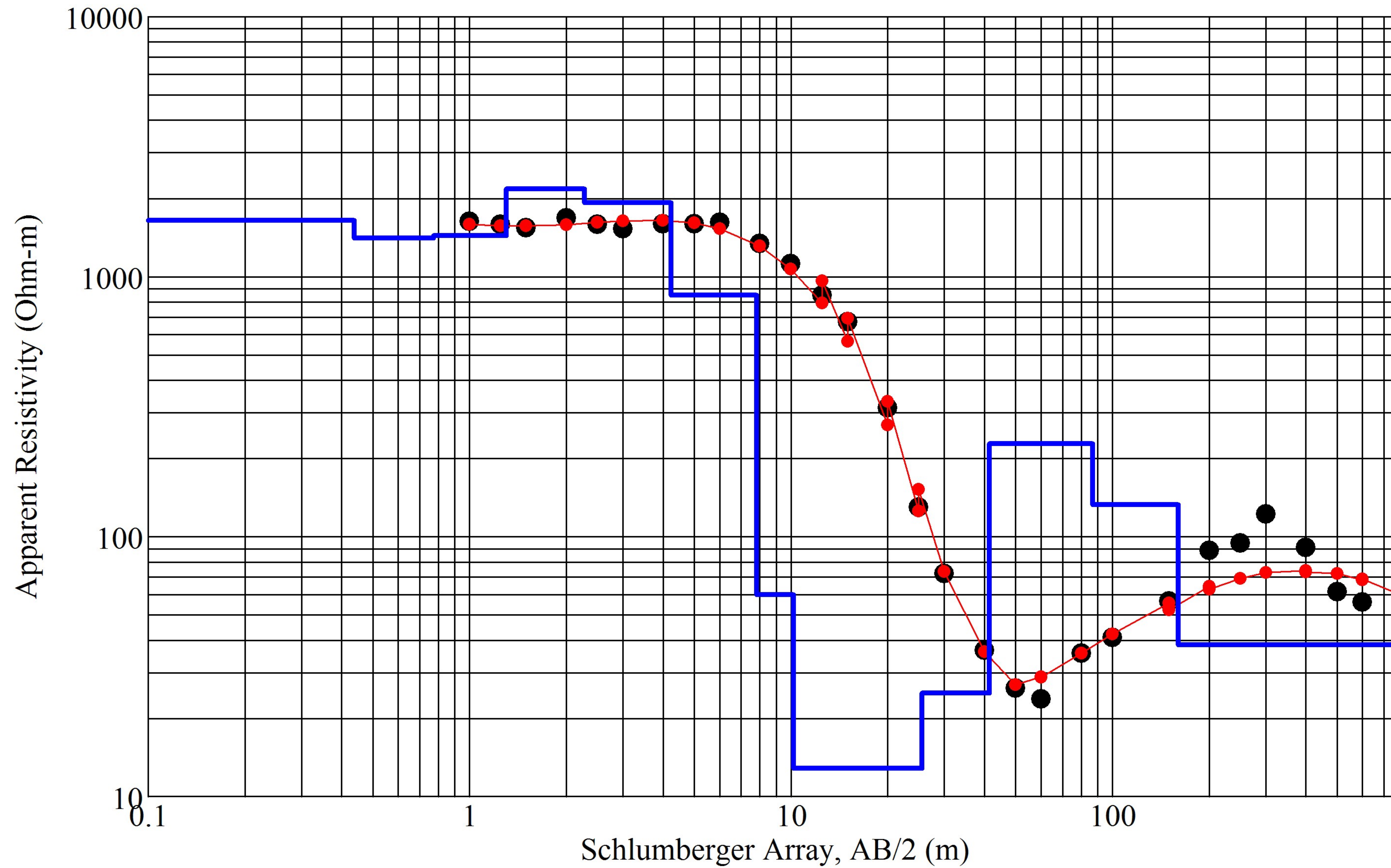


Iteration = 8 RMS = 5.72%

# Layered Resistivity Model

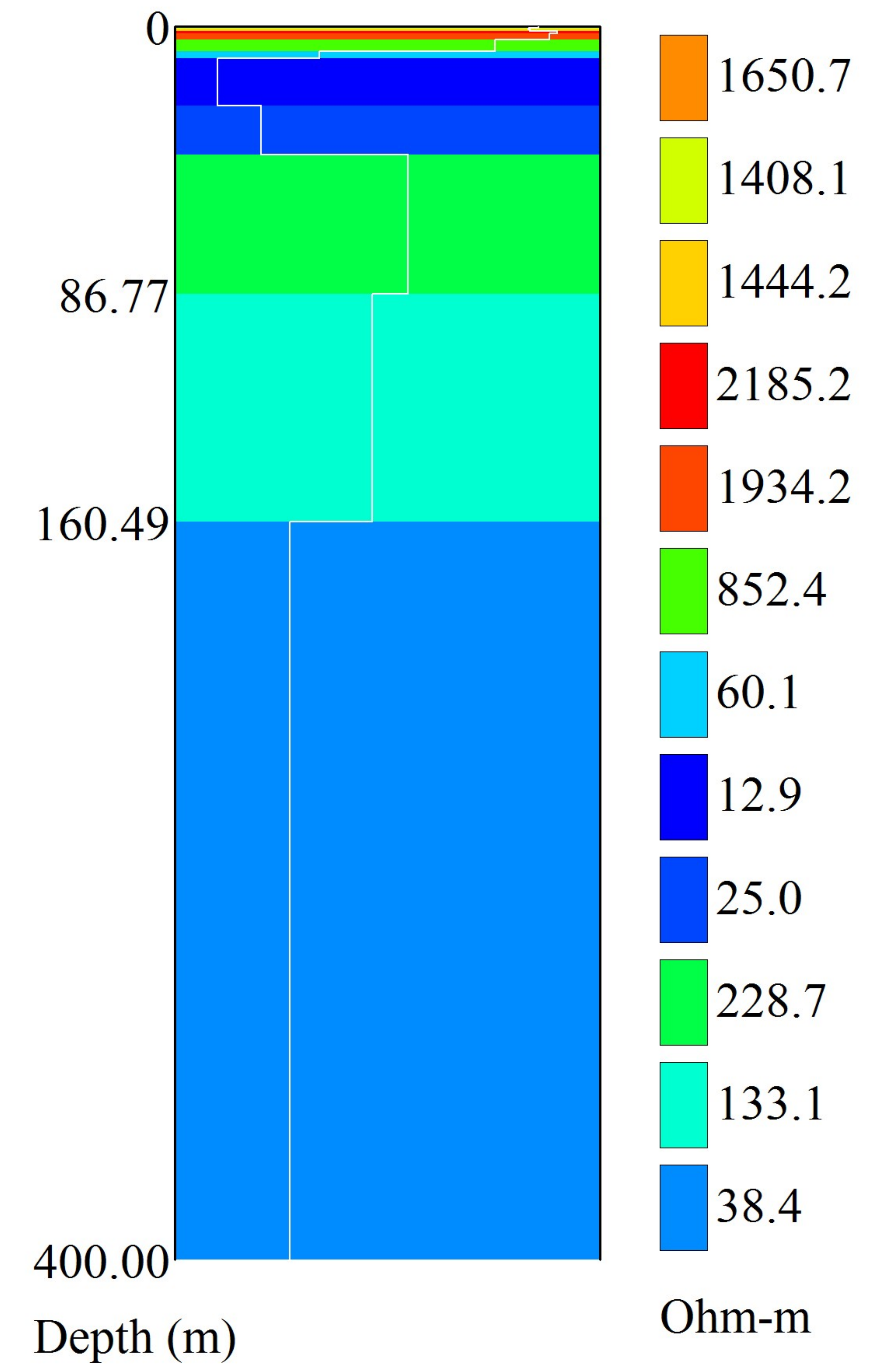


# SEV 17 - Measured and Modeled Data

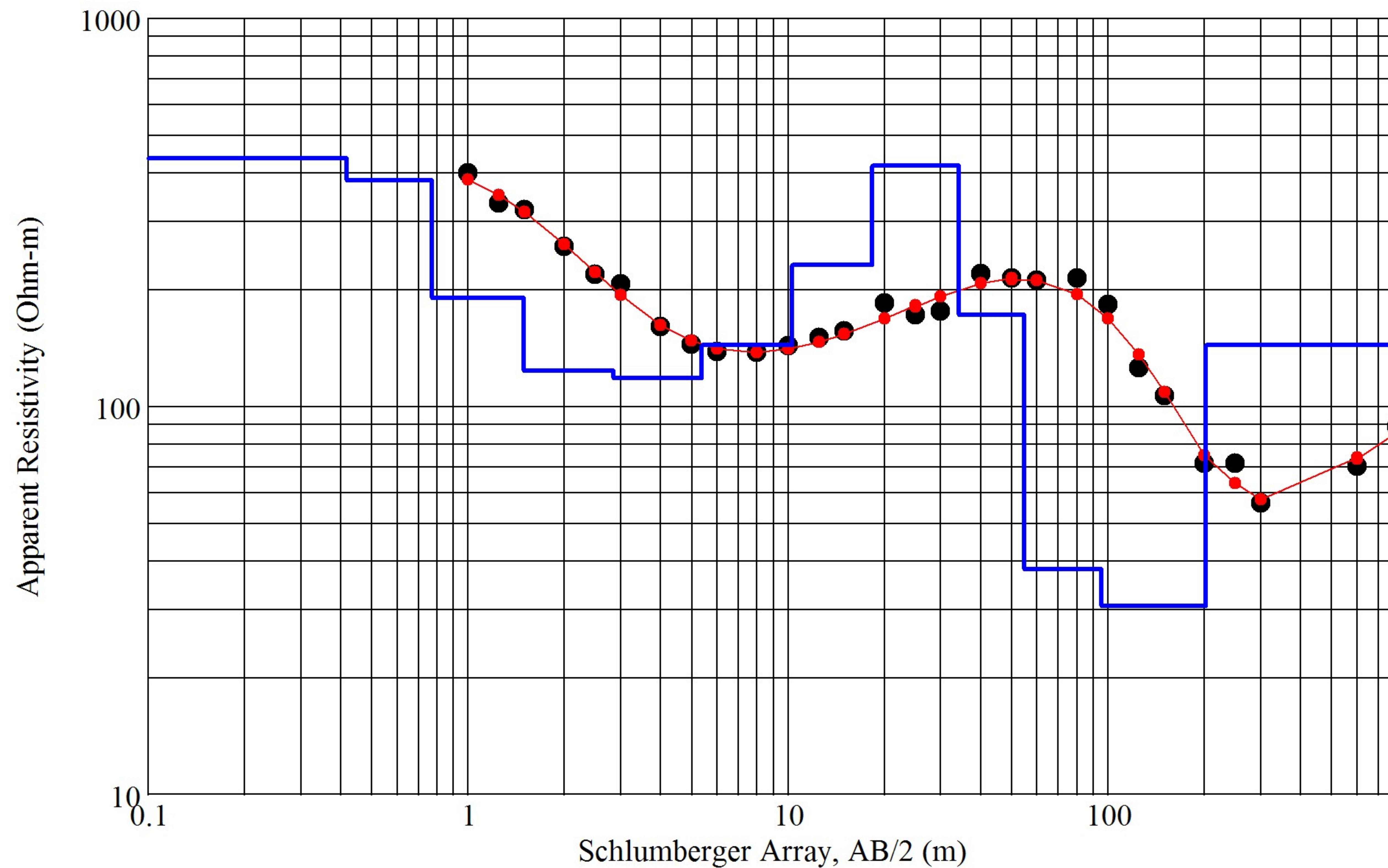


Iteration = 8 RMS = 14.95%

# Layered Resistivity Model

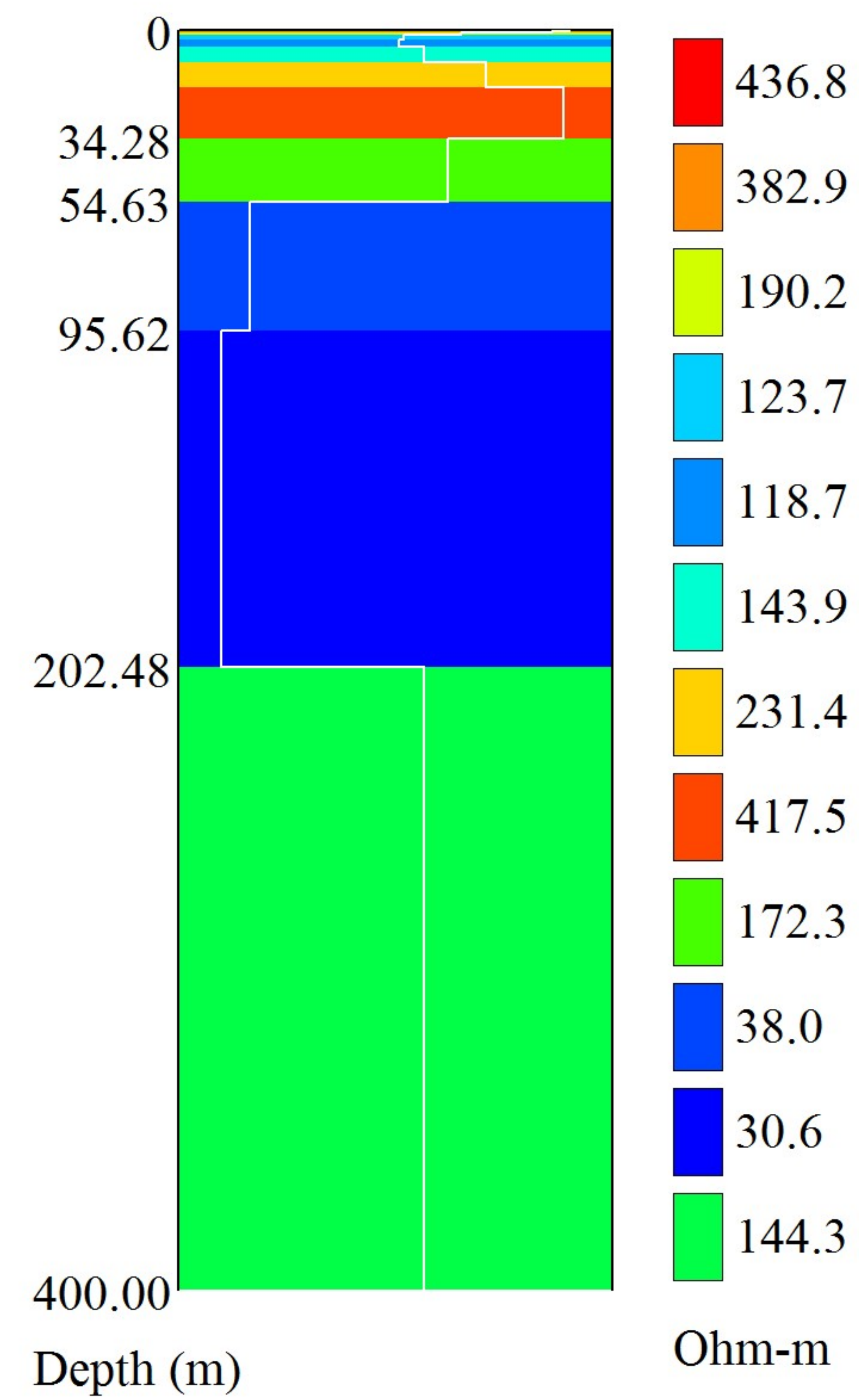


## SEV 18 - Measured and Modeled Data

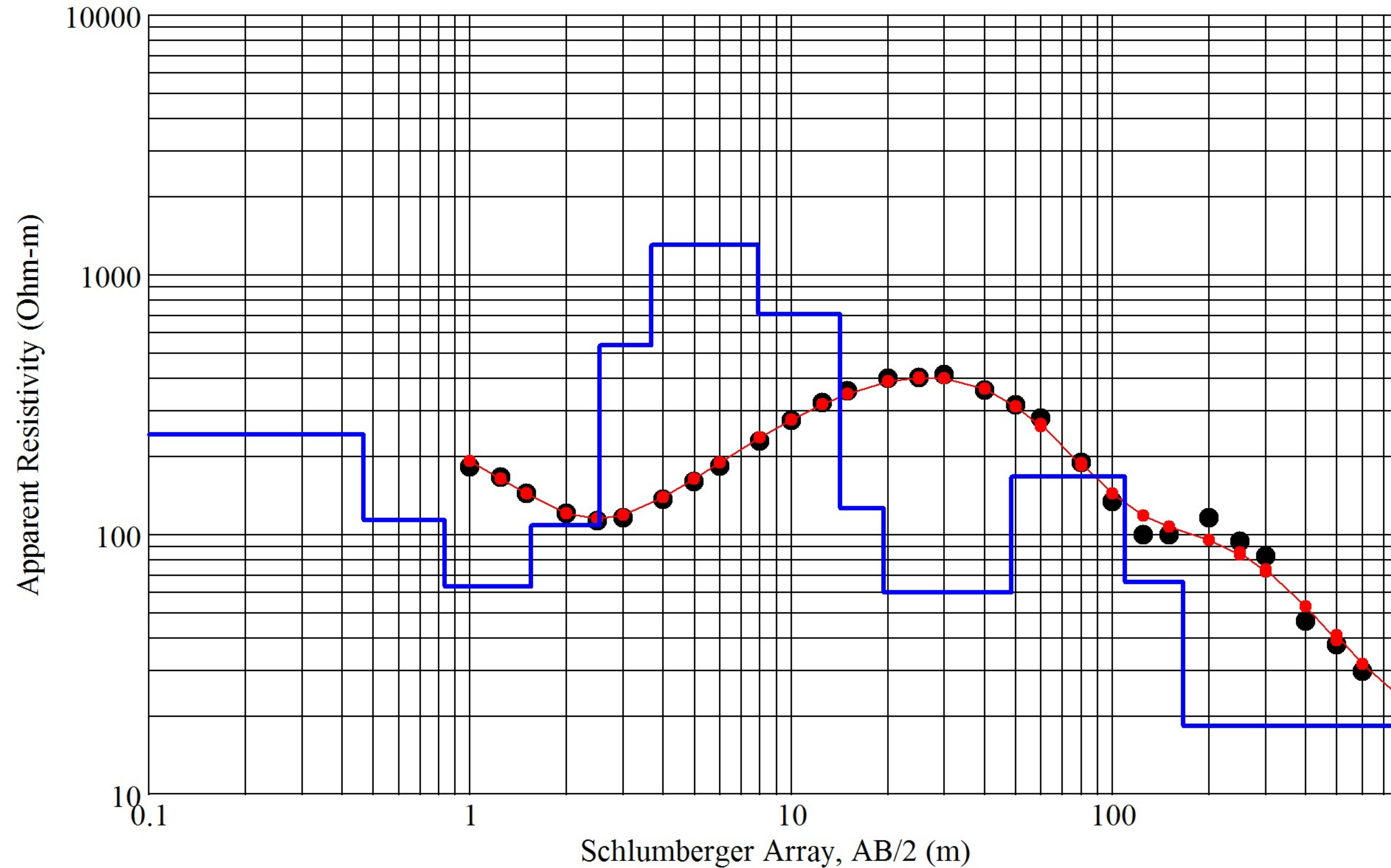


Iteration = 8 RMS = 4.97%

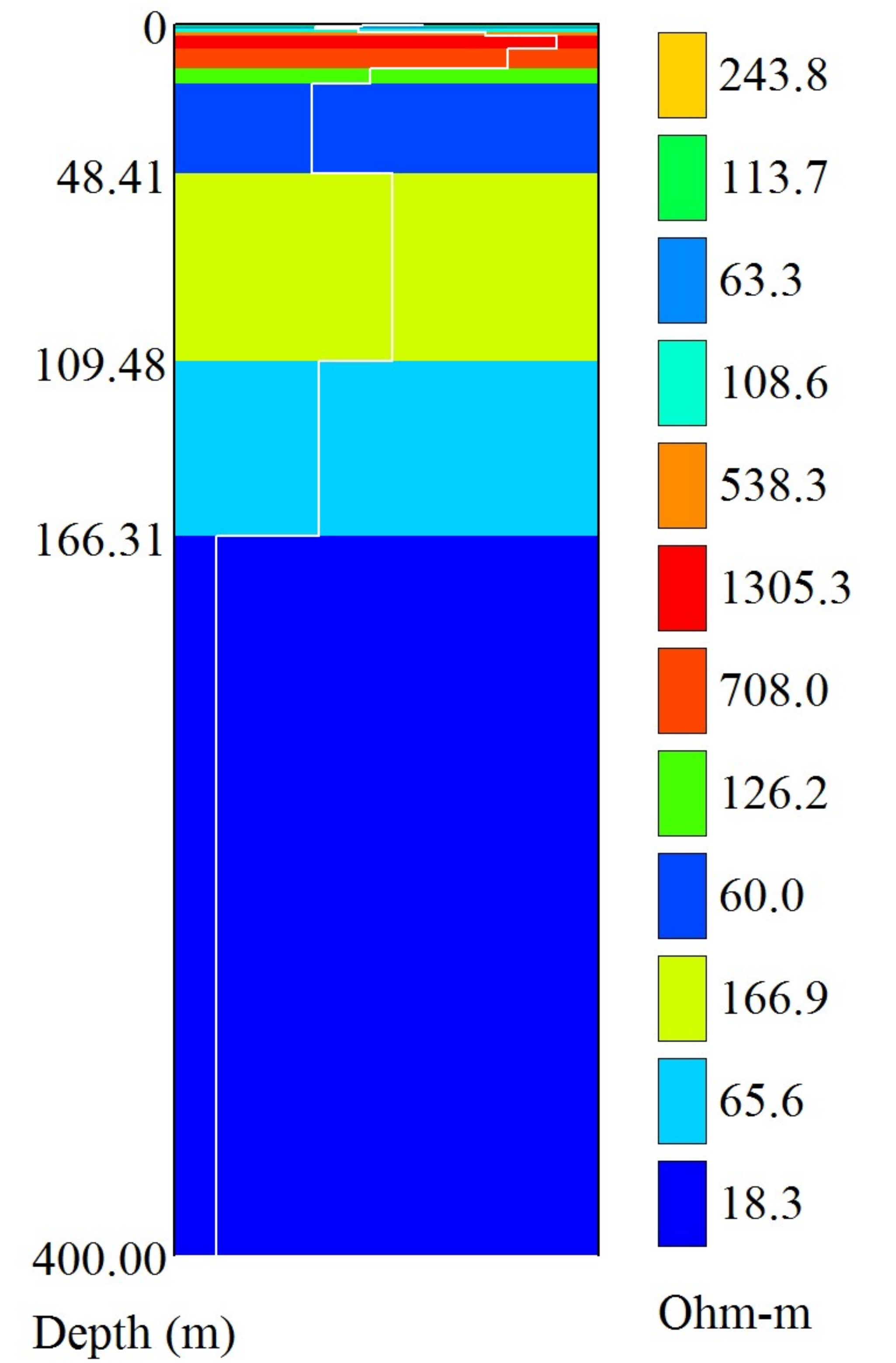
## Layered Resistivity Model



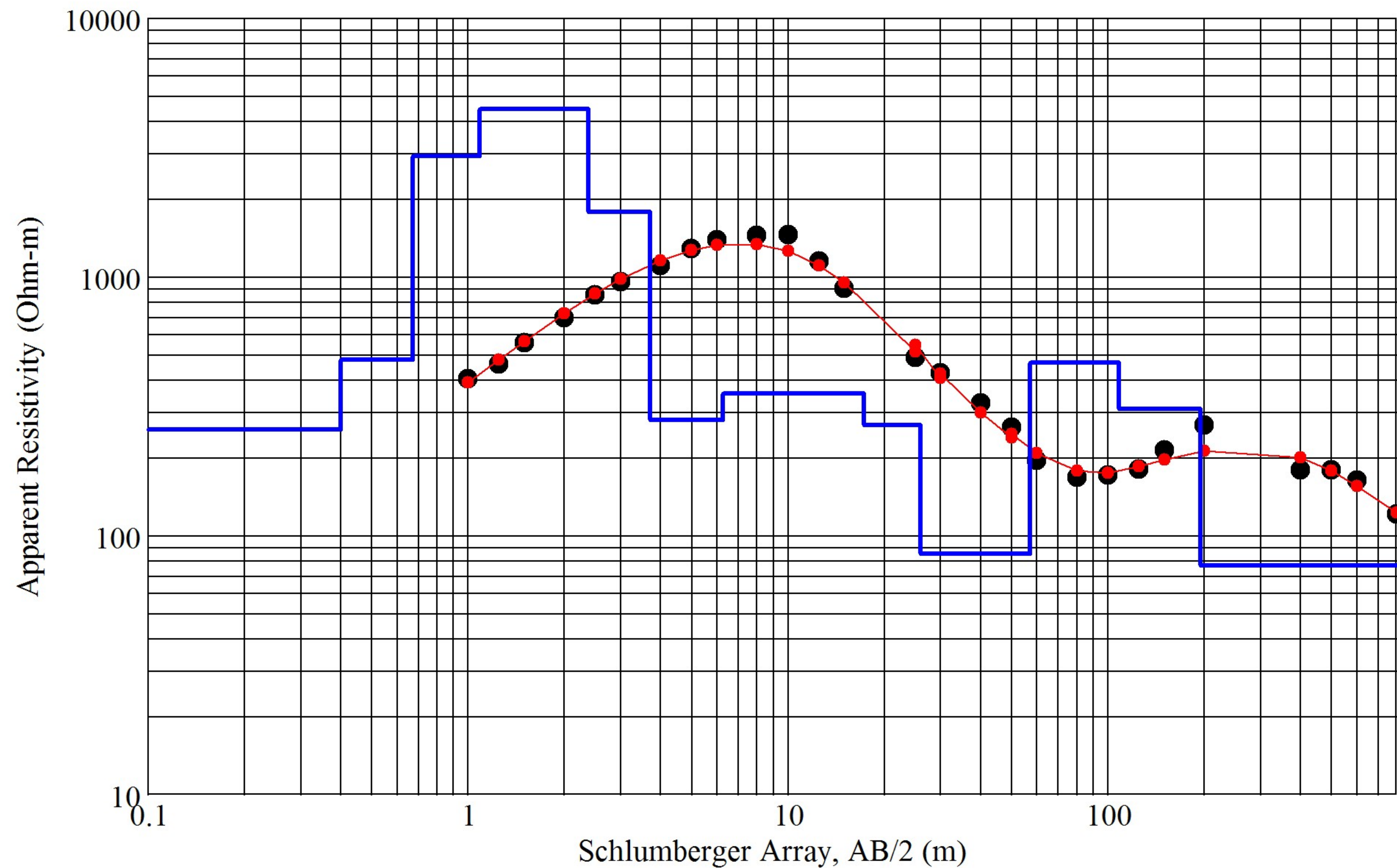
# SEV 19 - Measured and Modeled Data



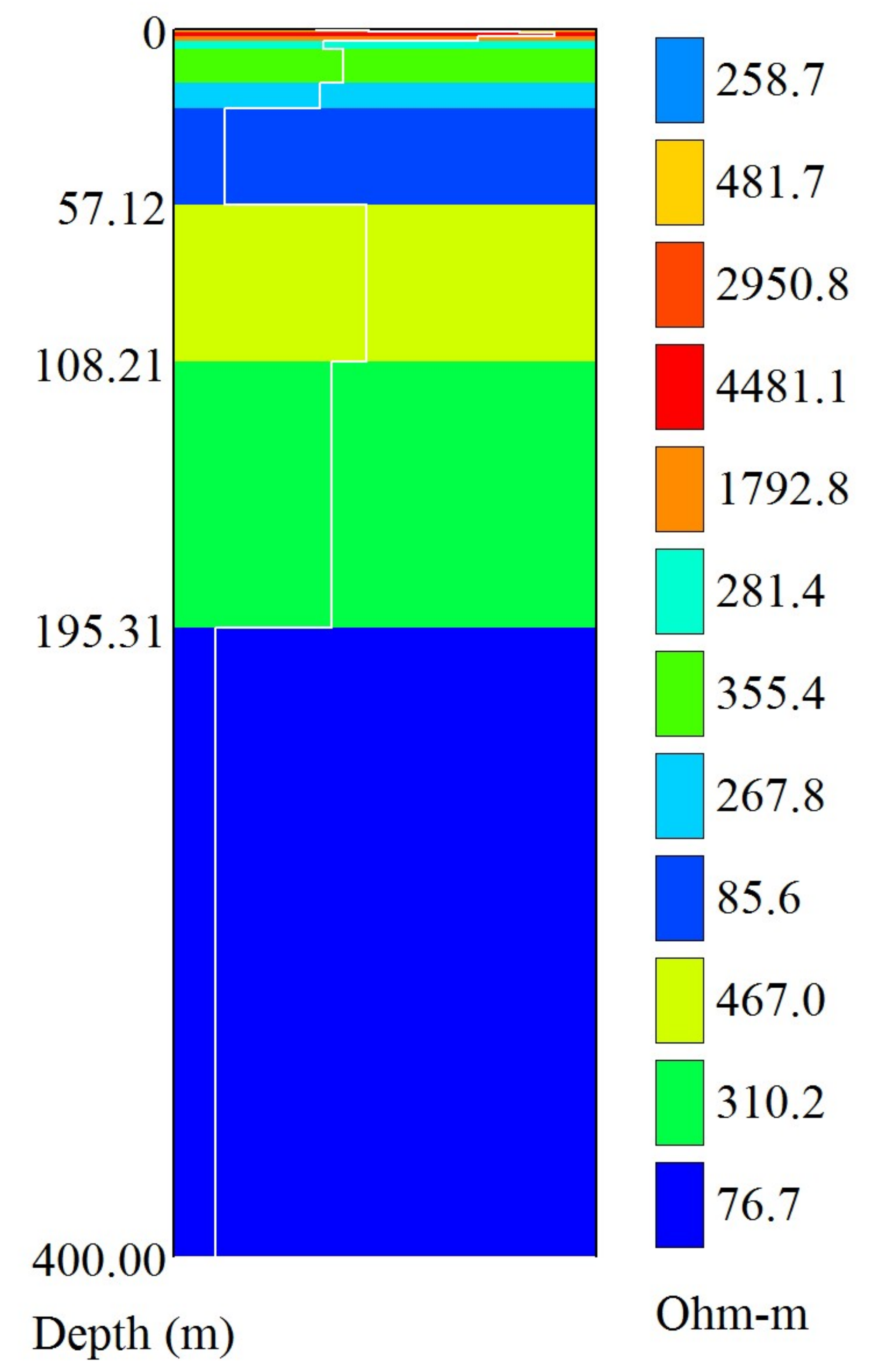
# Layered Resistivity Model



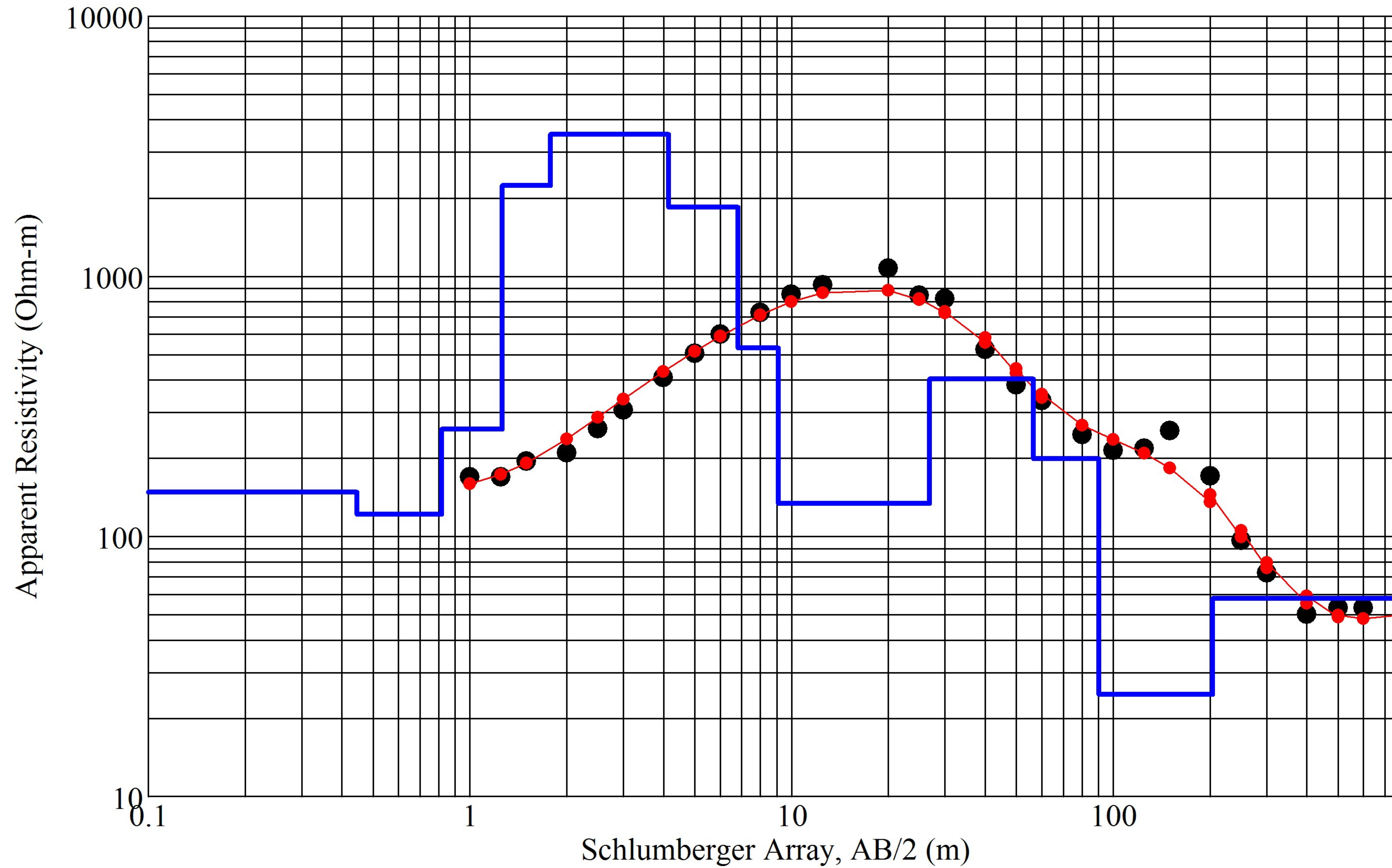
## SEV 20 - Measured and Modeled Data



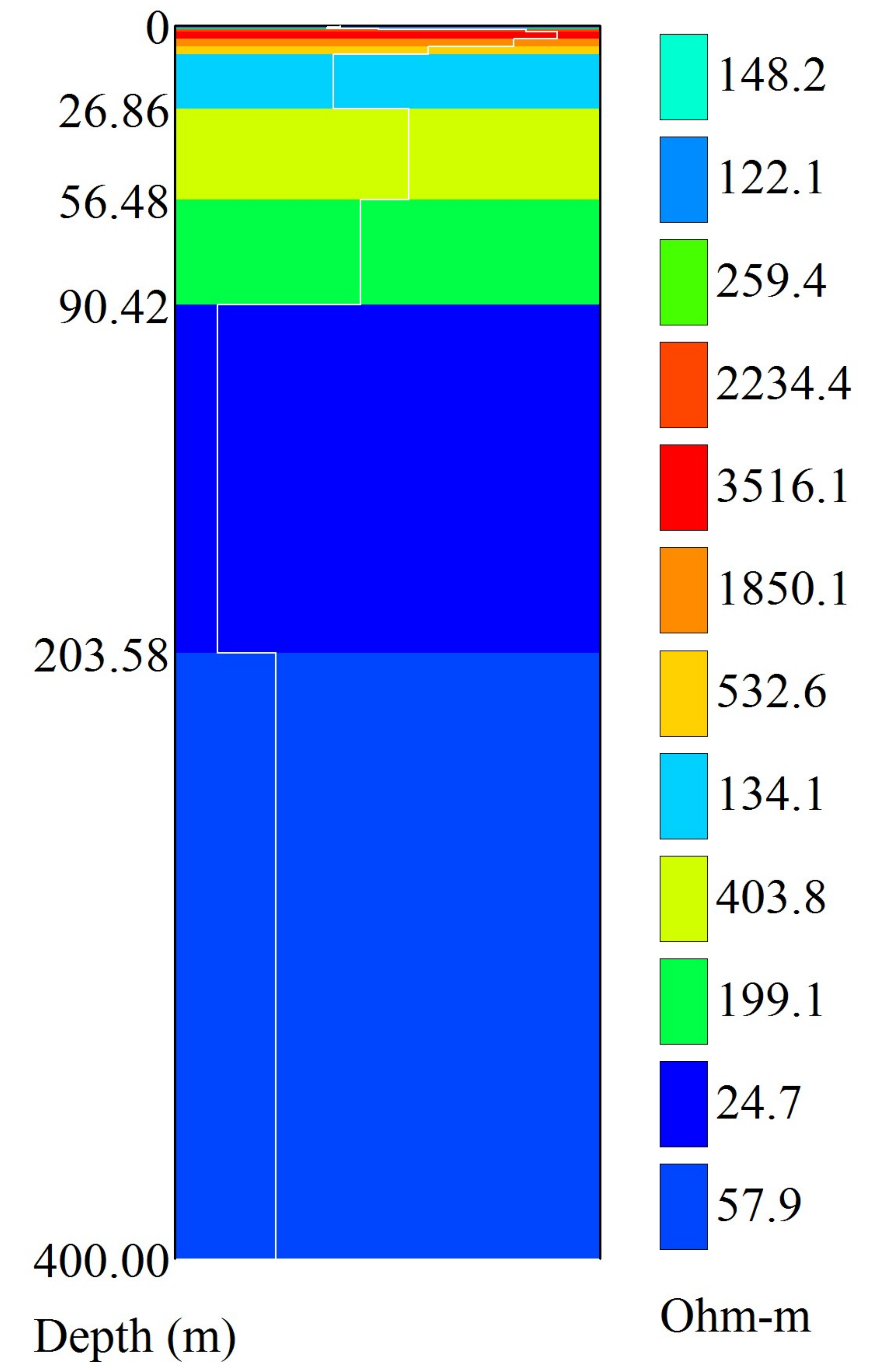
## Layered Resistivity Model



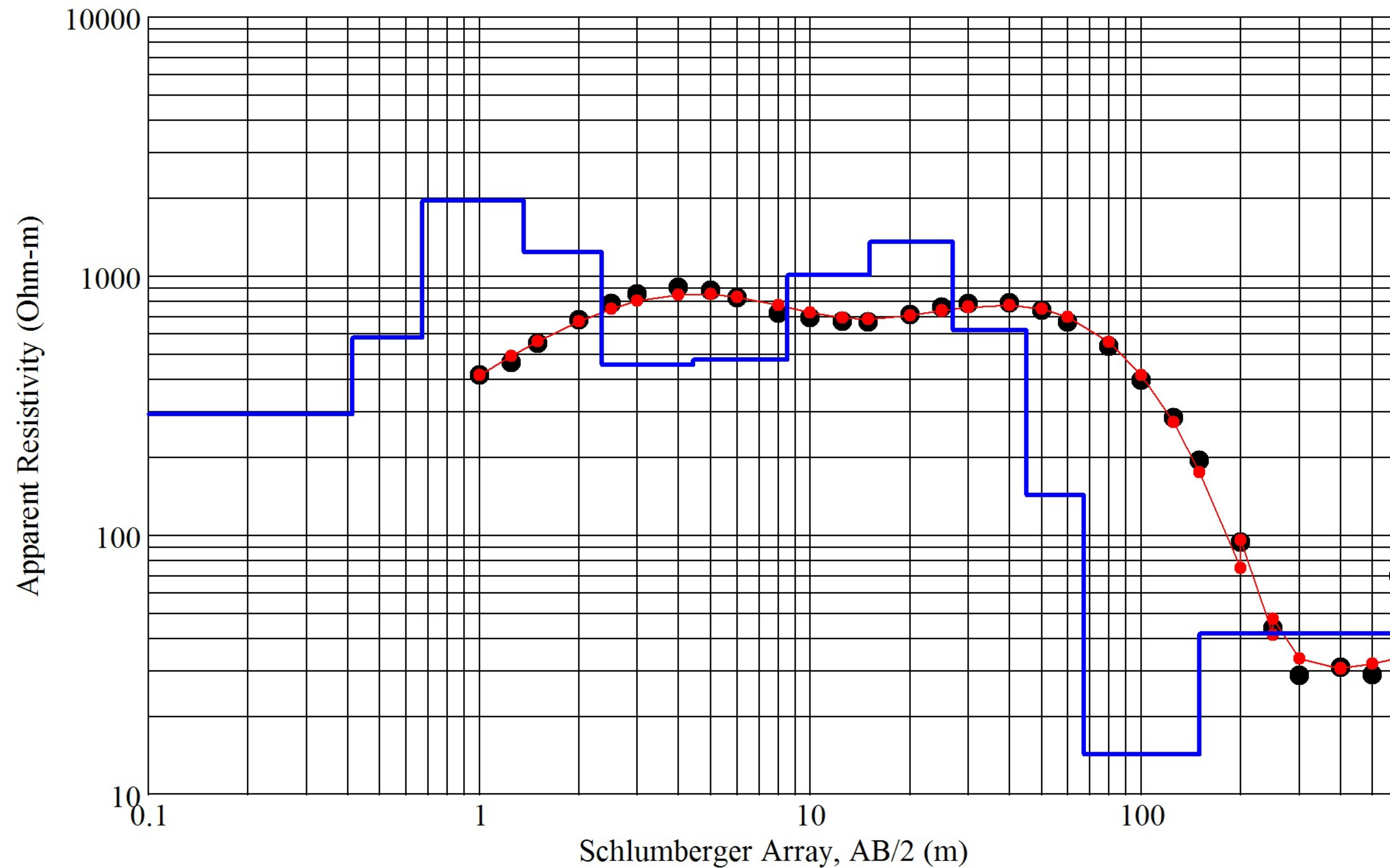
# SEV 21 - Measured and Modeled Data



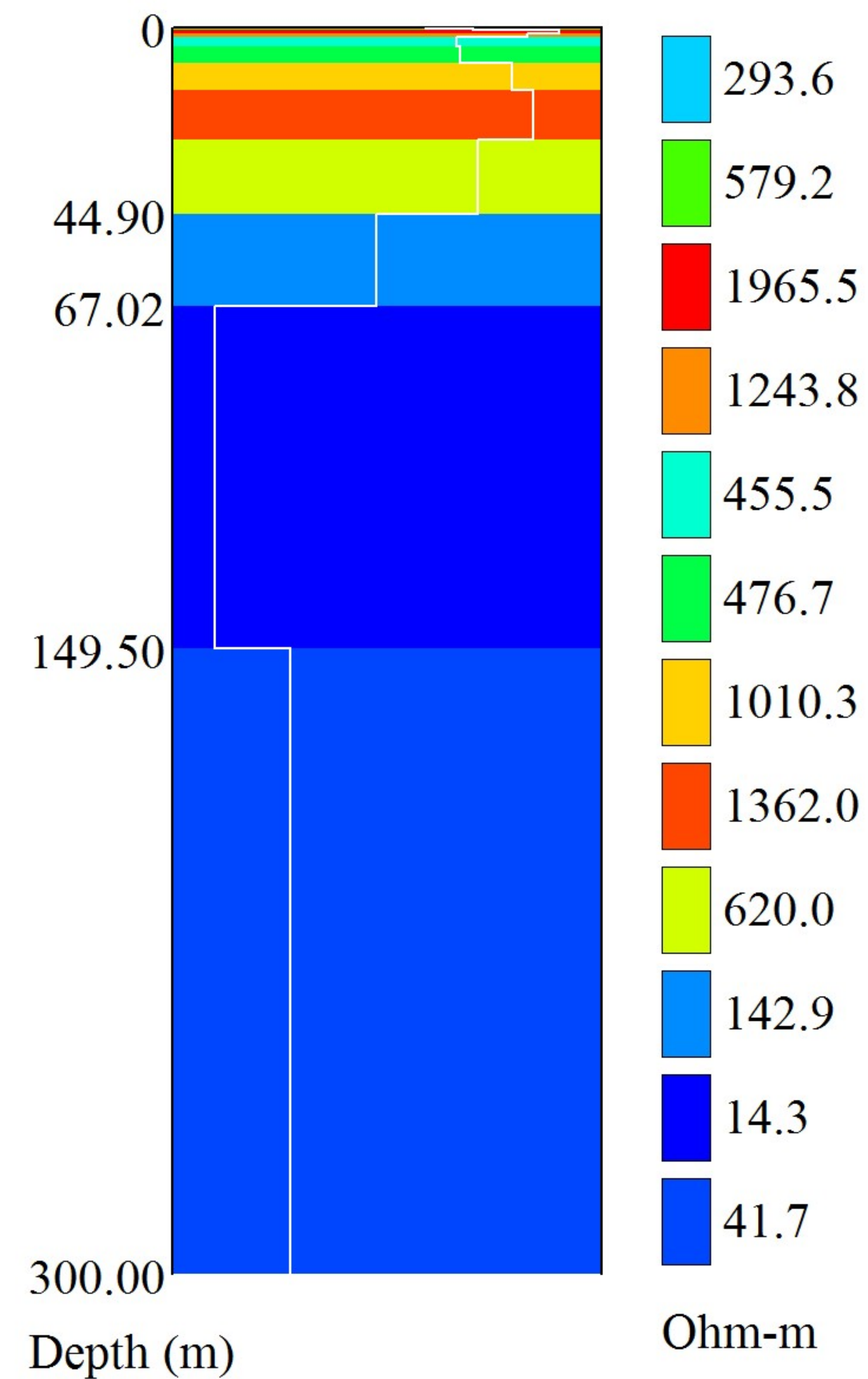
# Layered Resistivity Model



## SEV 22 - Measured and Modeled Data

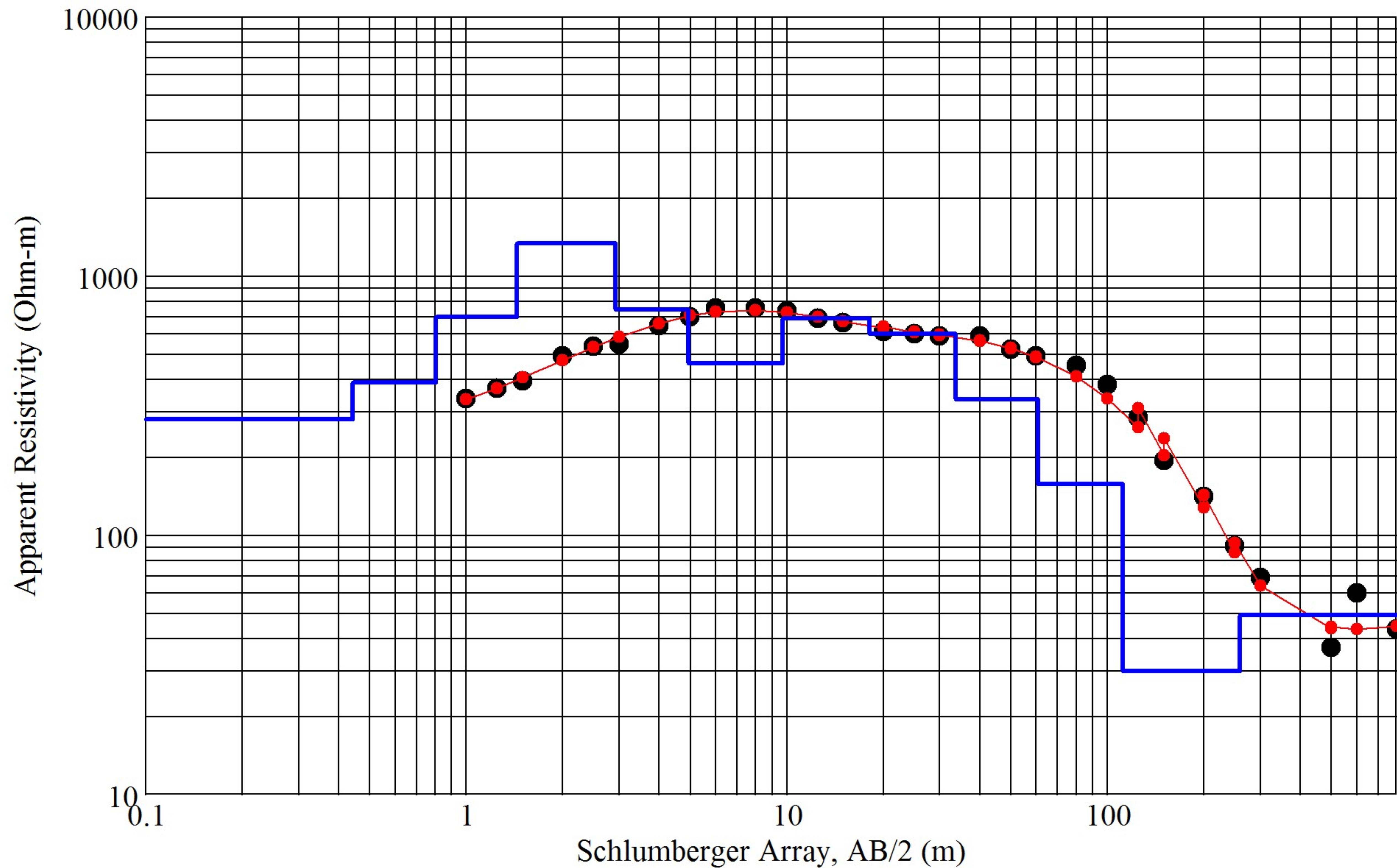


## Layered Resistivity Model

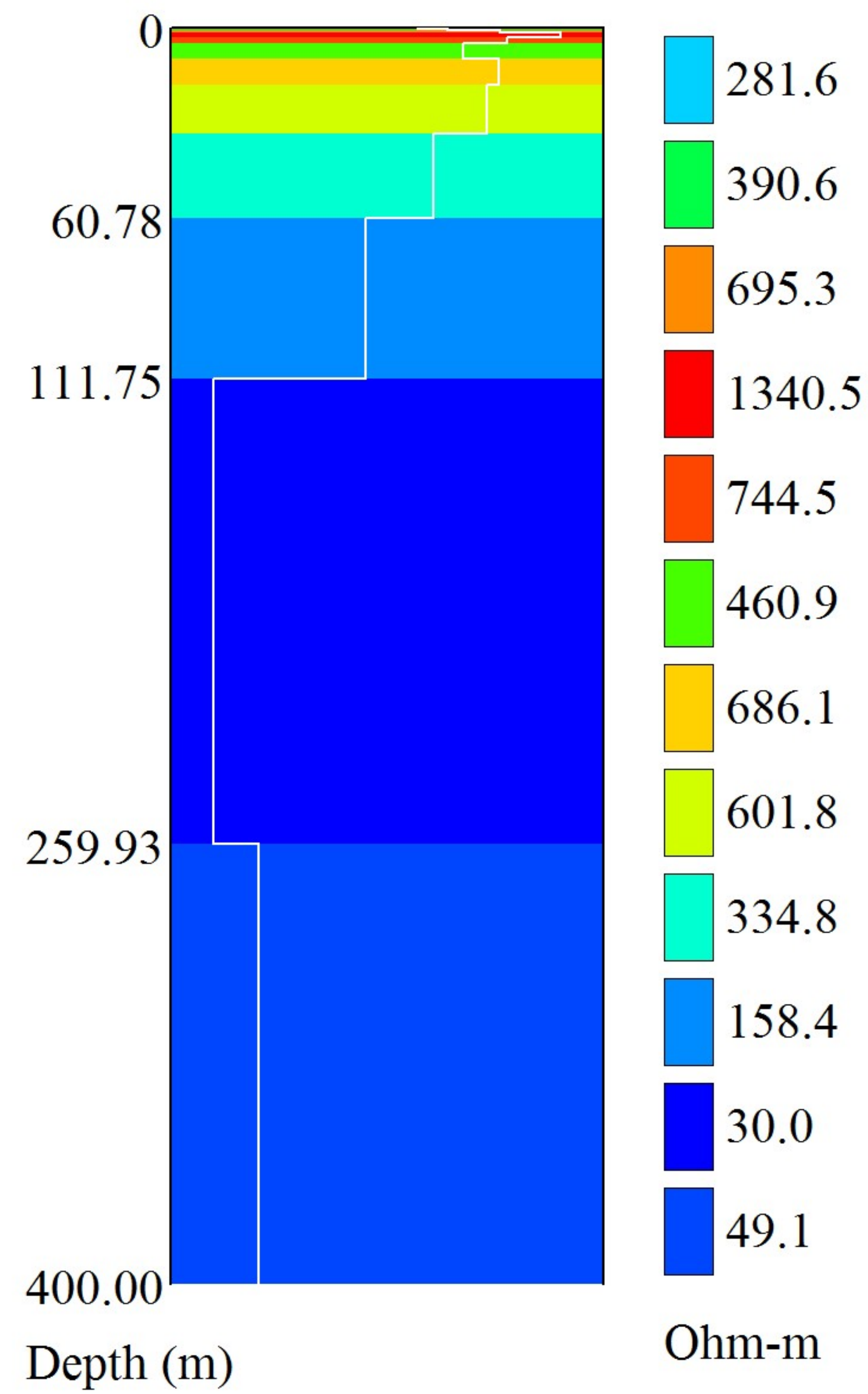




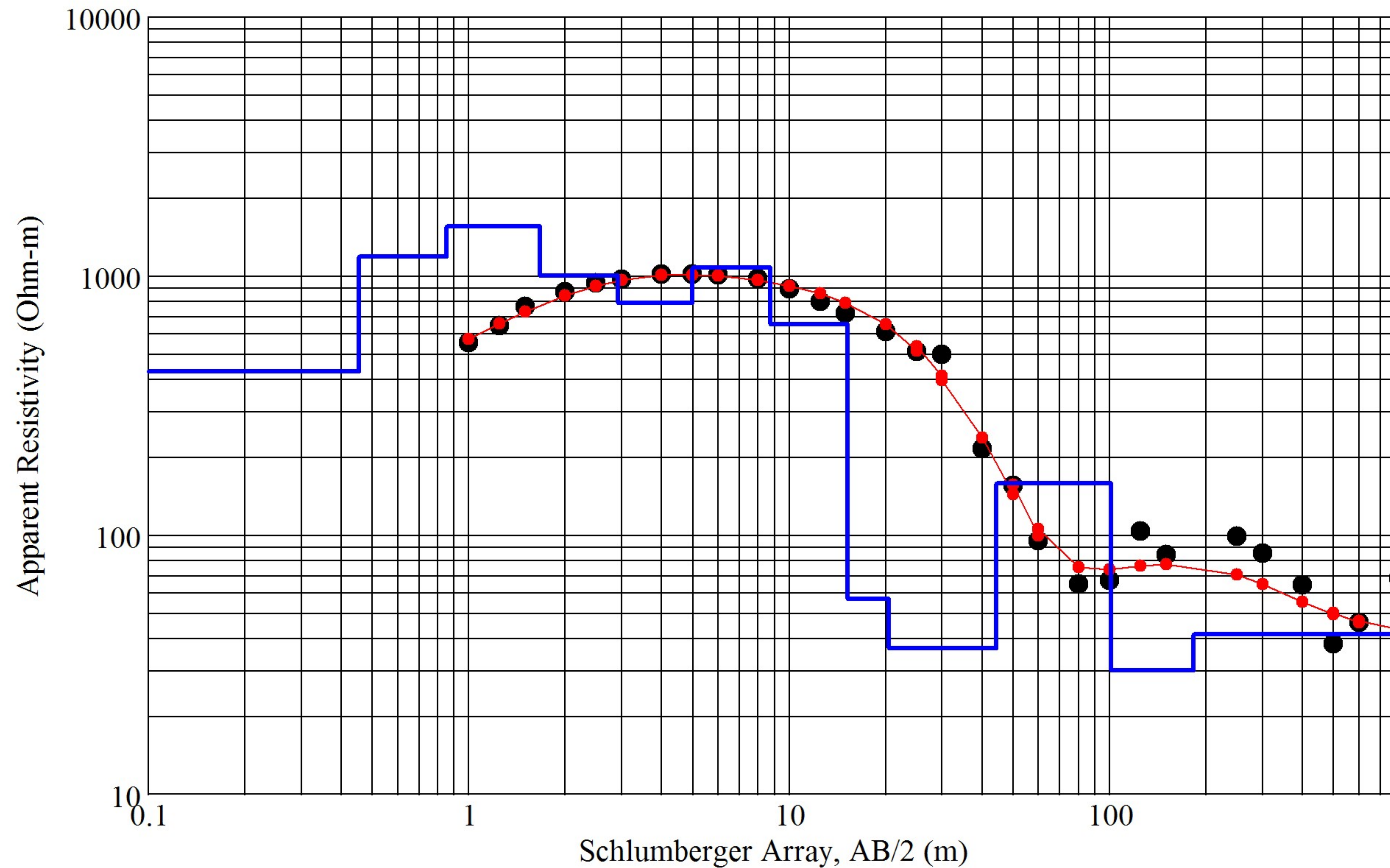
# SEV 23 - Measured and Modeled Data



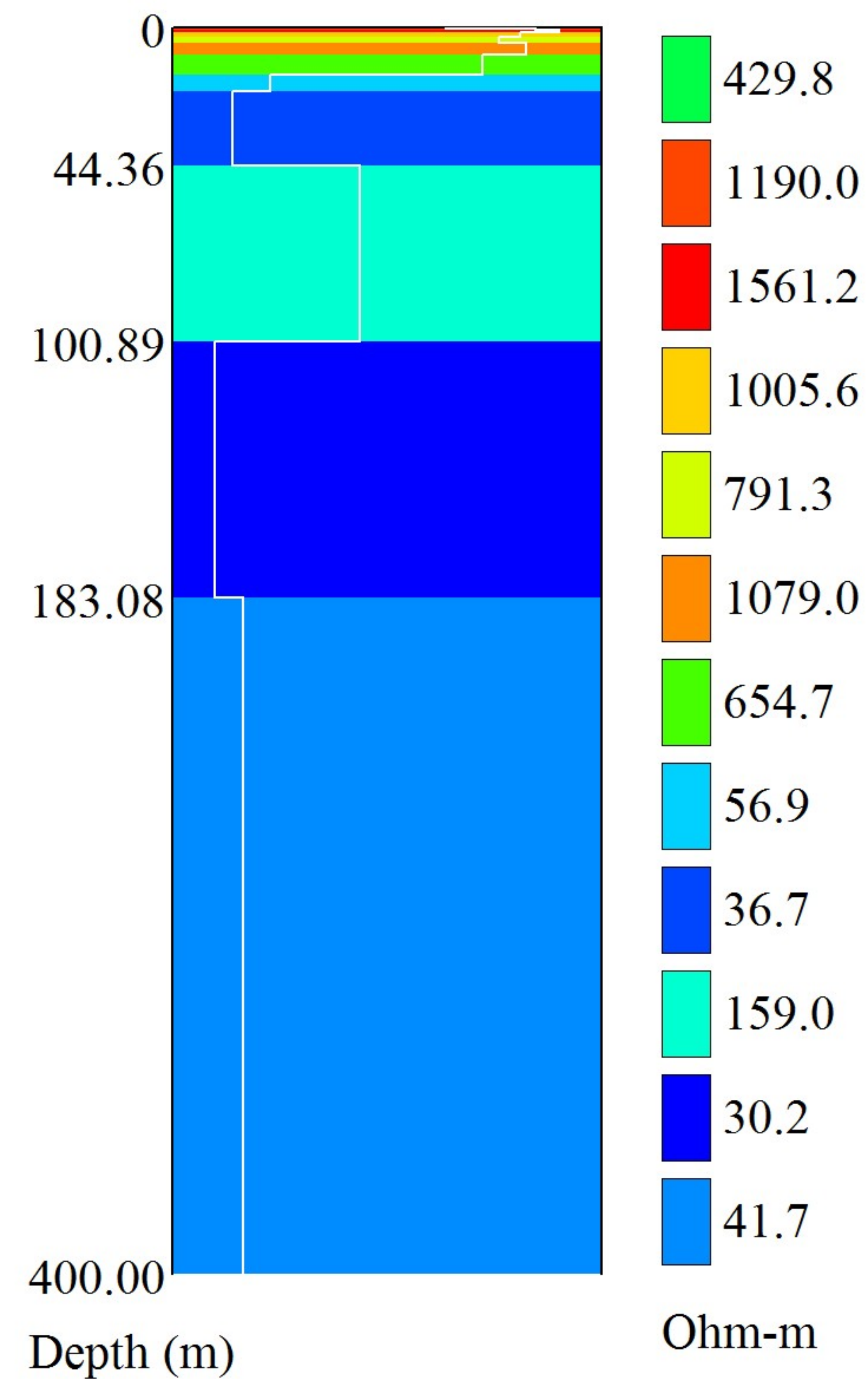
# Layered Resistivity Model



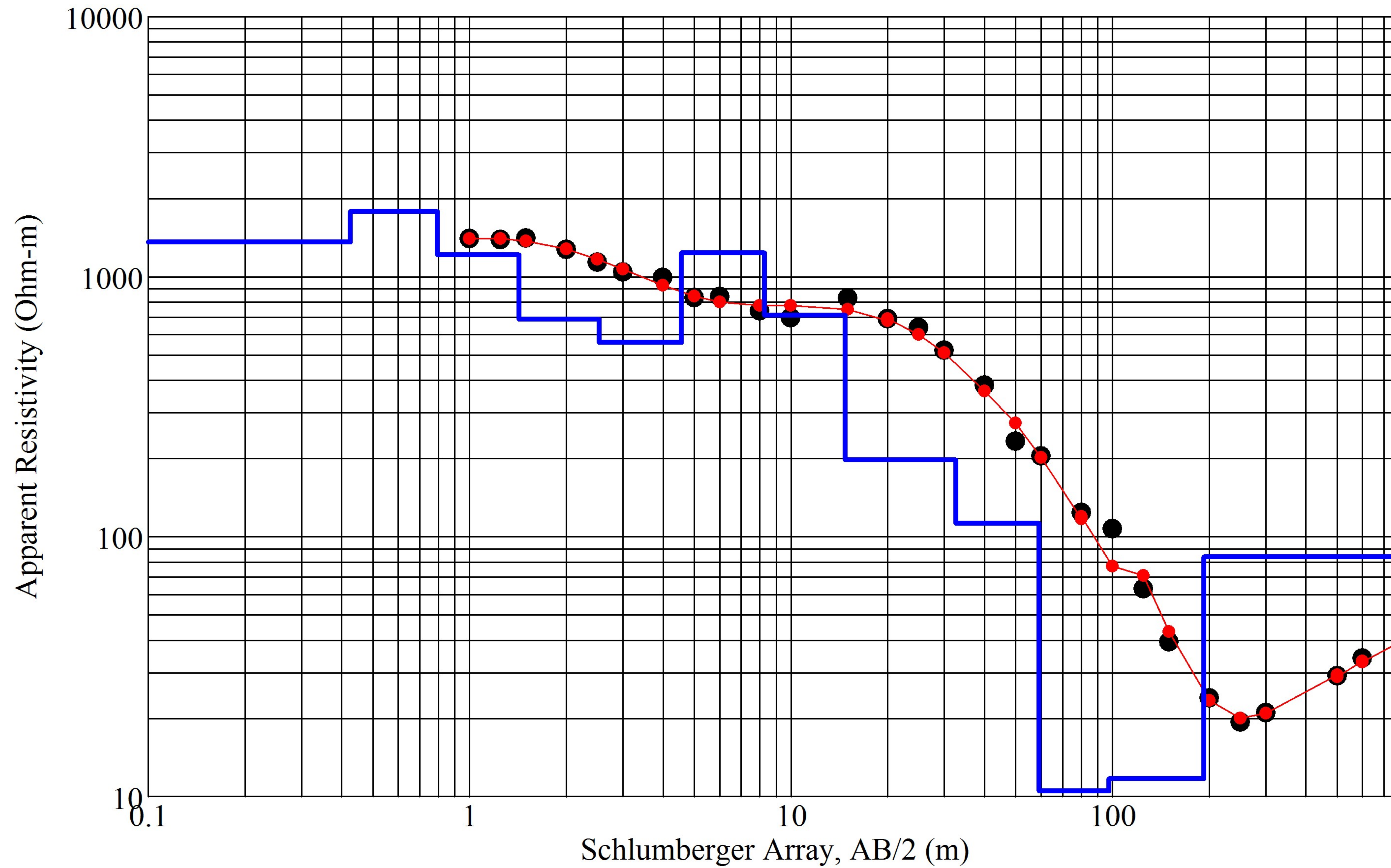
## SEV 24 - Measured and Modeled Data



## Layered Resistivity Model

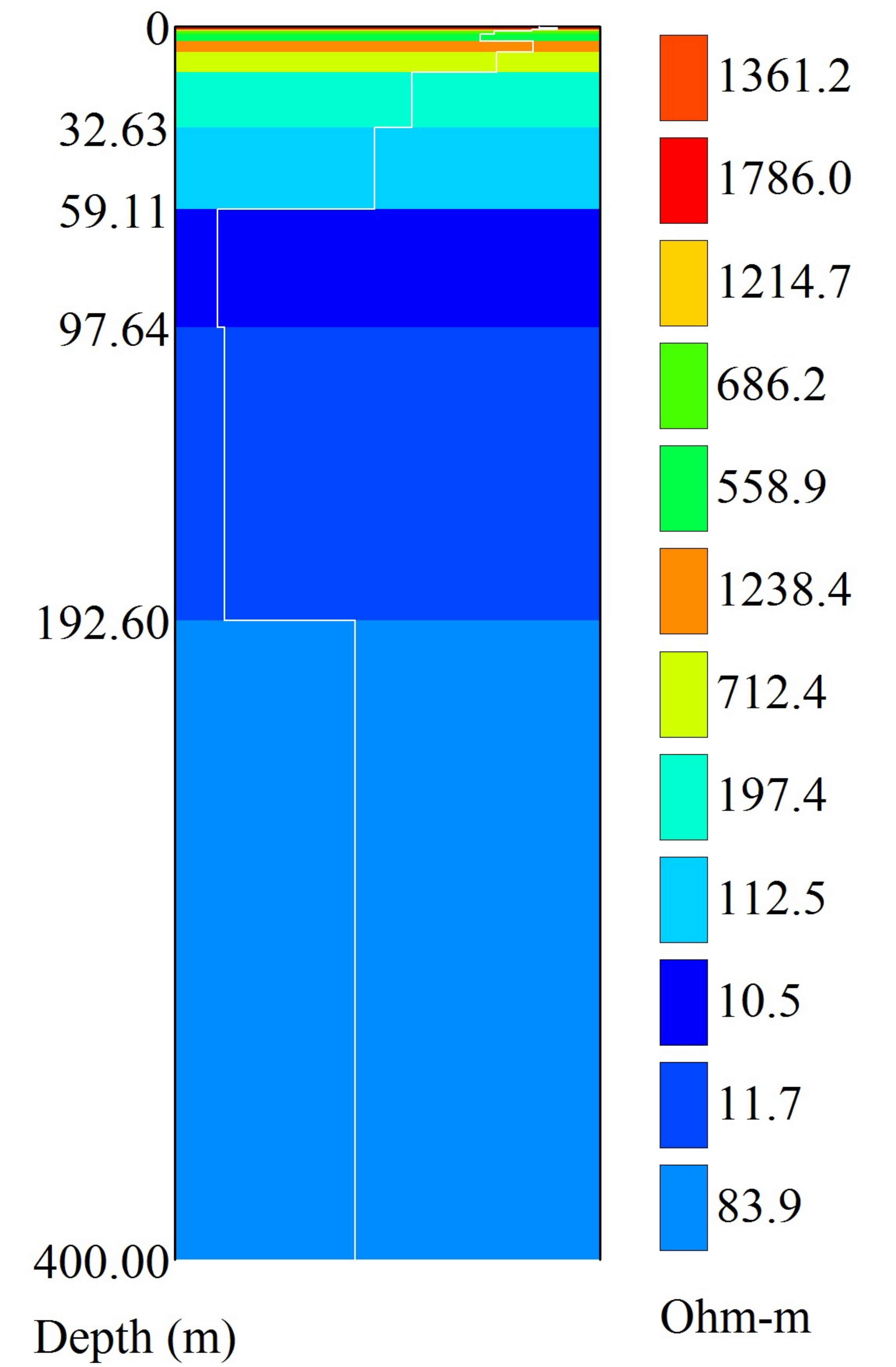


# SEV 25 R - Measured and Modeled Data

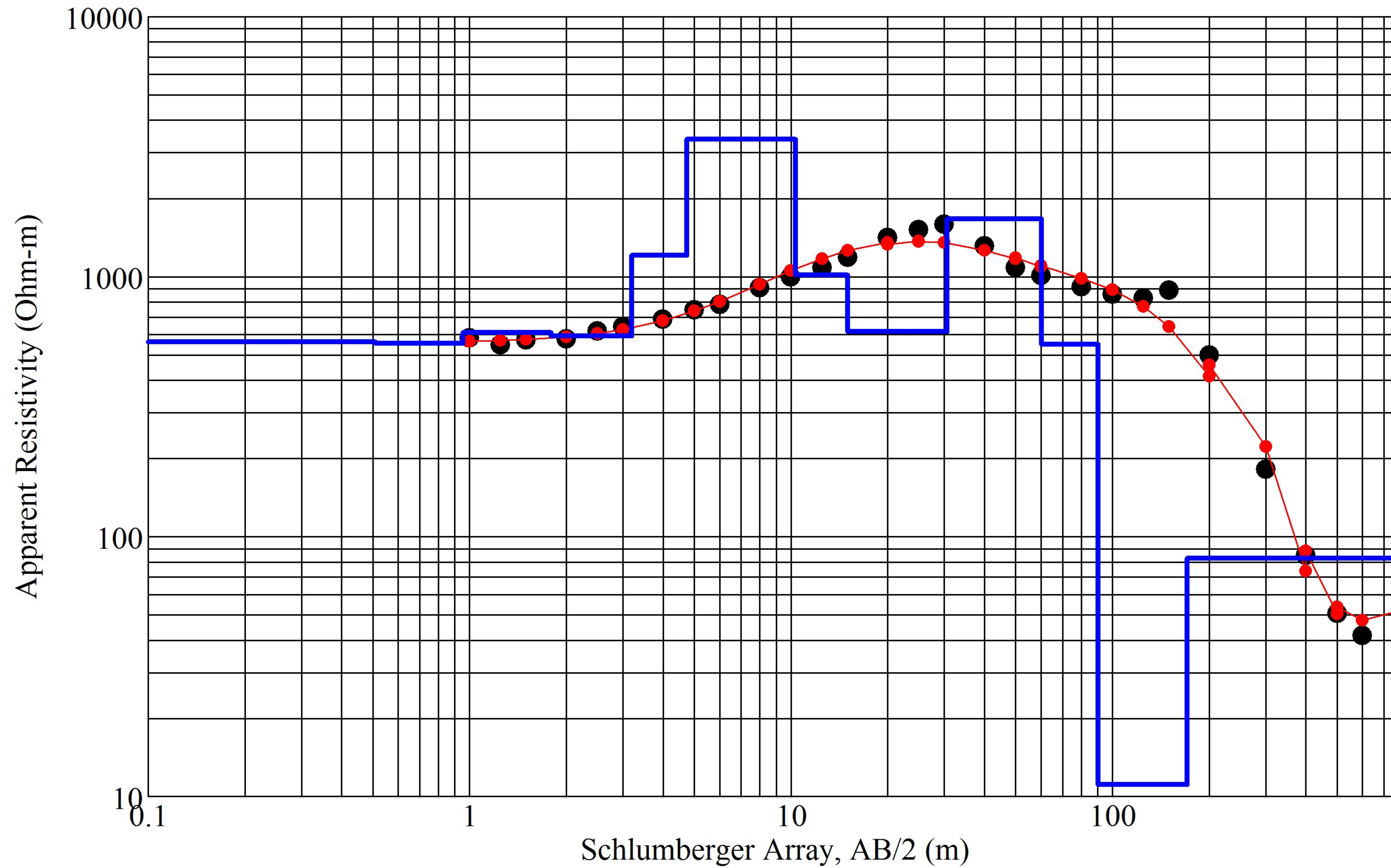


Iteration = 8 RMS = 7.49%

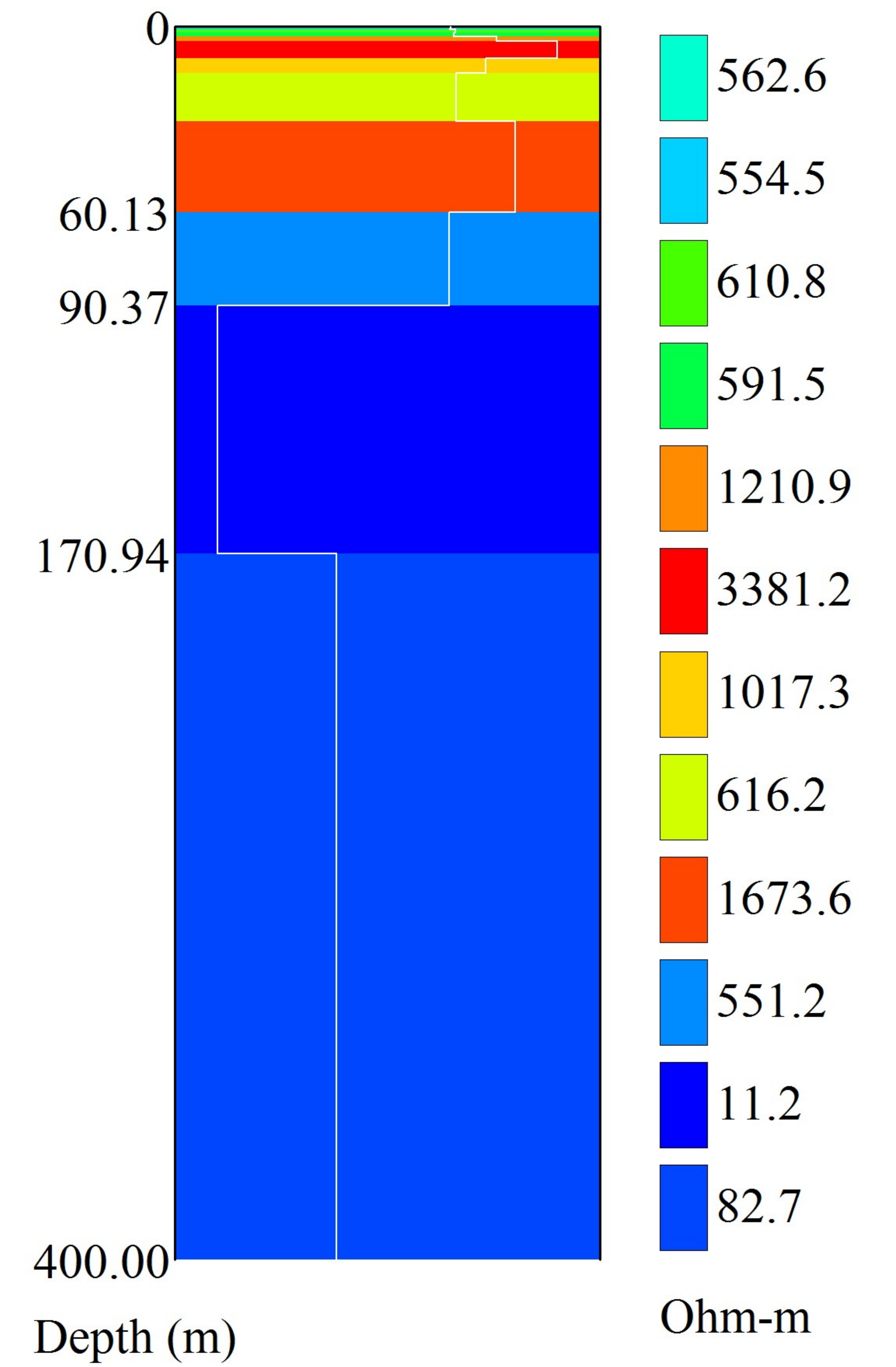
# Layered Resistivity Model



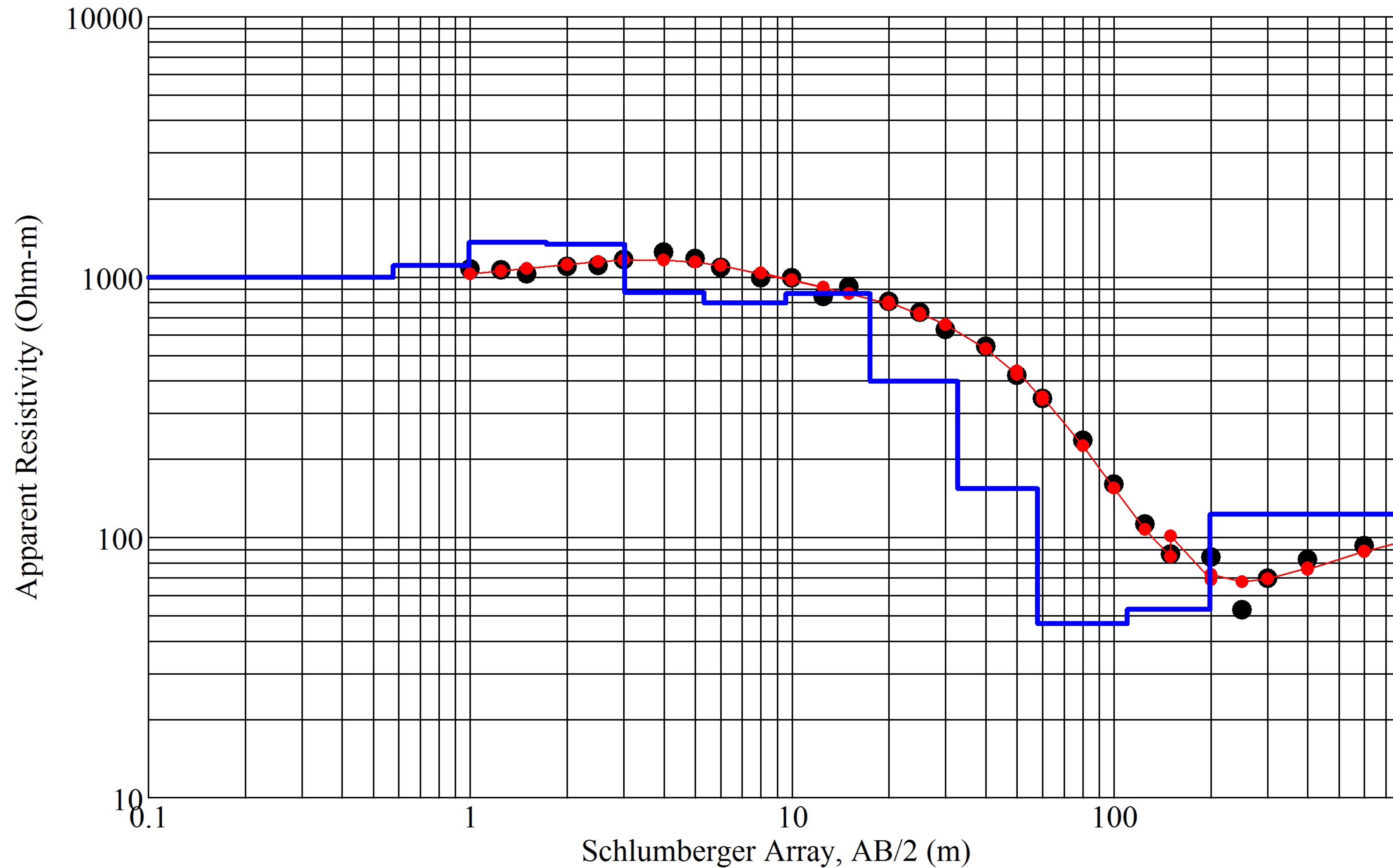
### SEV 26 R - Measured and Modeled Data



### Layered Resistivity Model

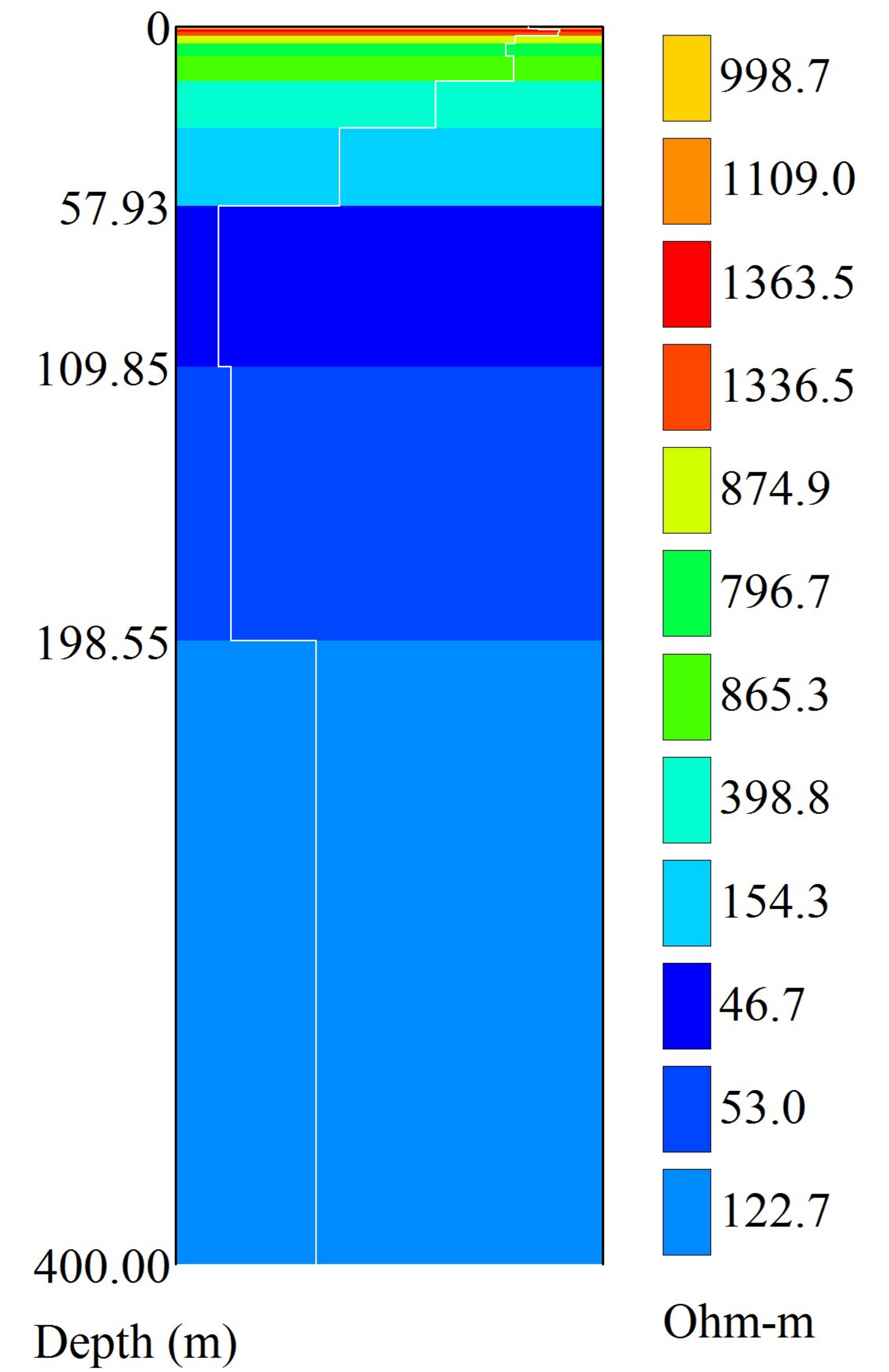


# SEV 27 - Measured and Modeled Data

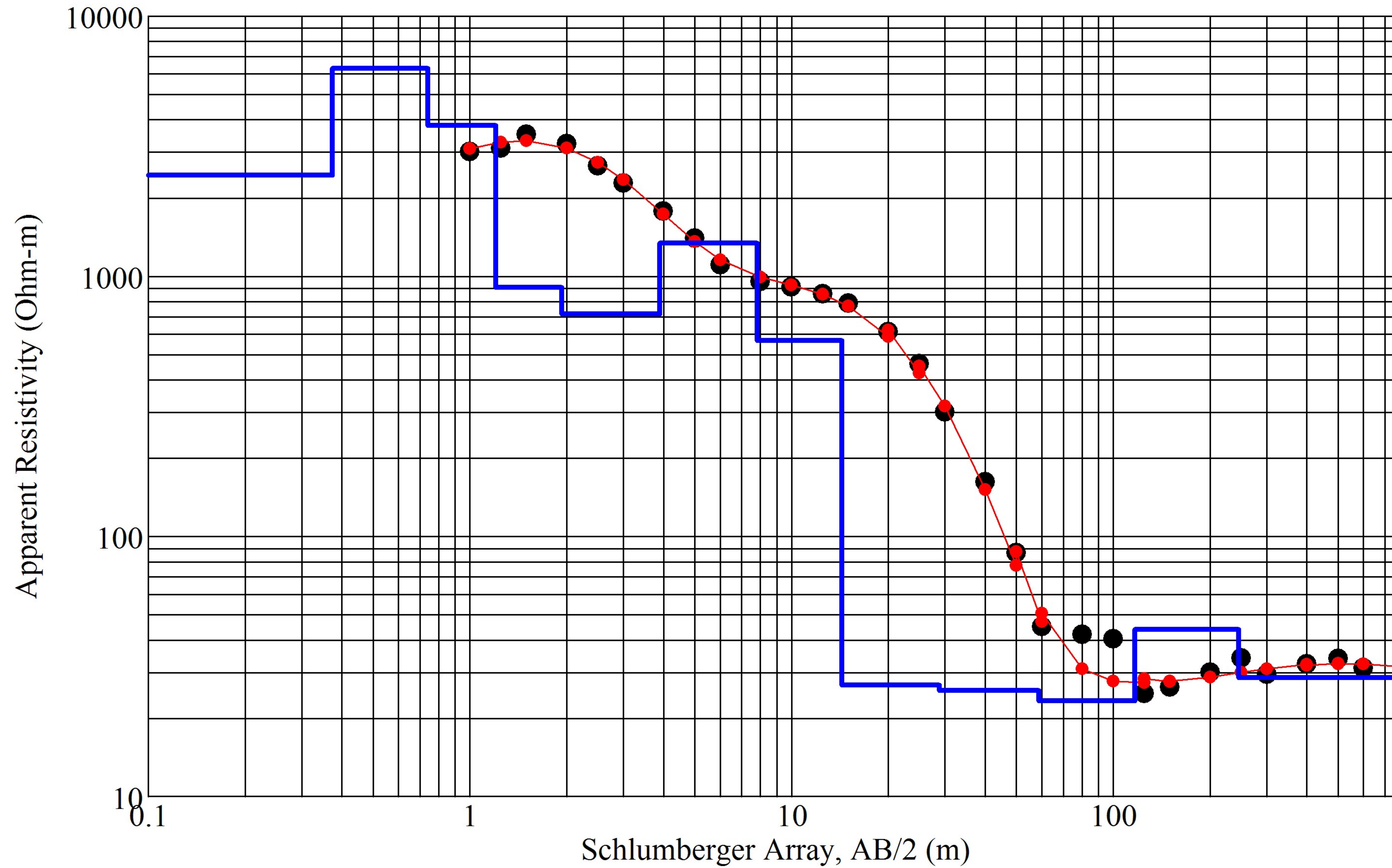


Iteration = 8 RMS = 7.57%

# Layered Resistivity Model

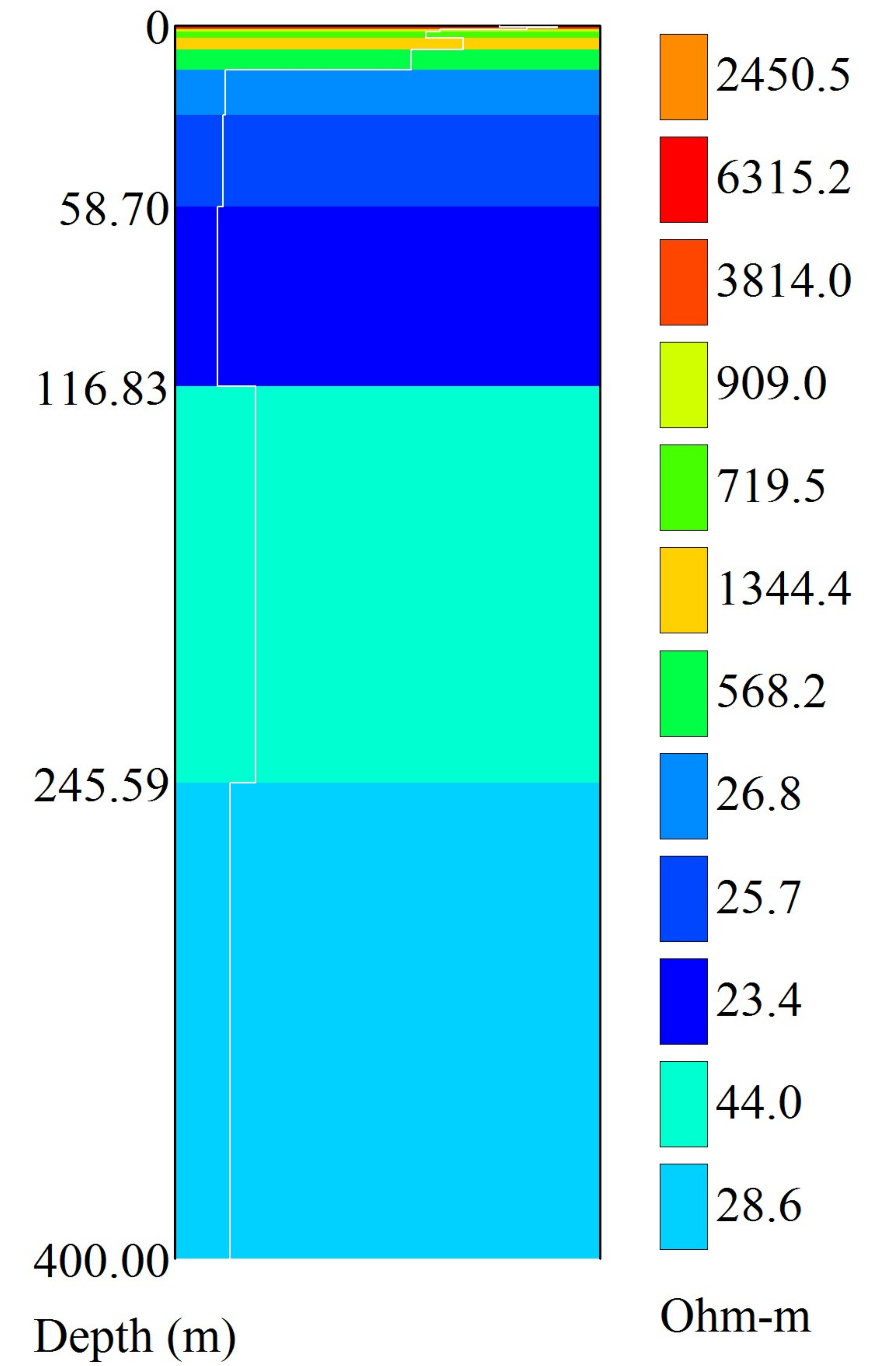


# SEV 28 - Measured and Modeled Data

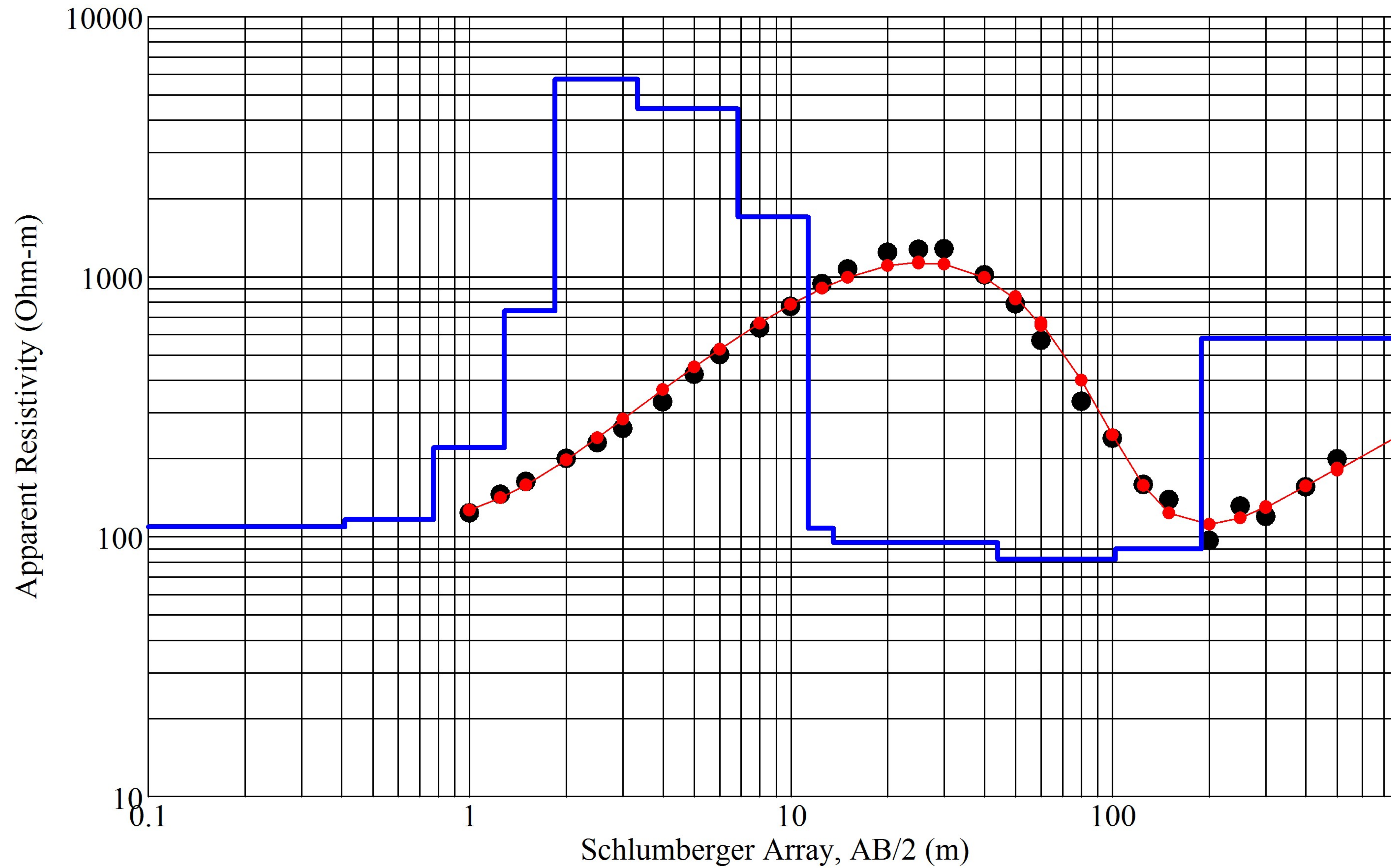


Iteration = 8 RMS = 8.58%

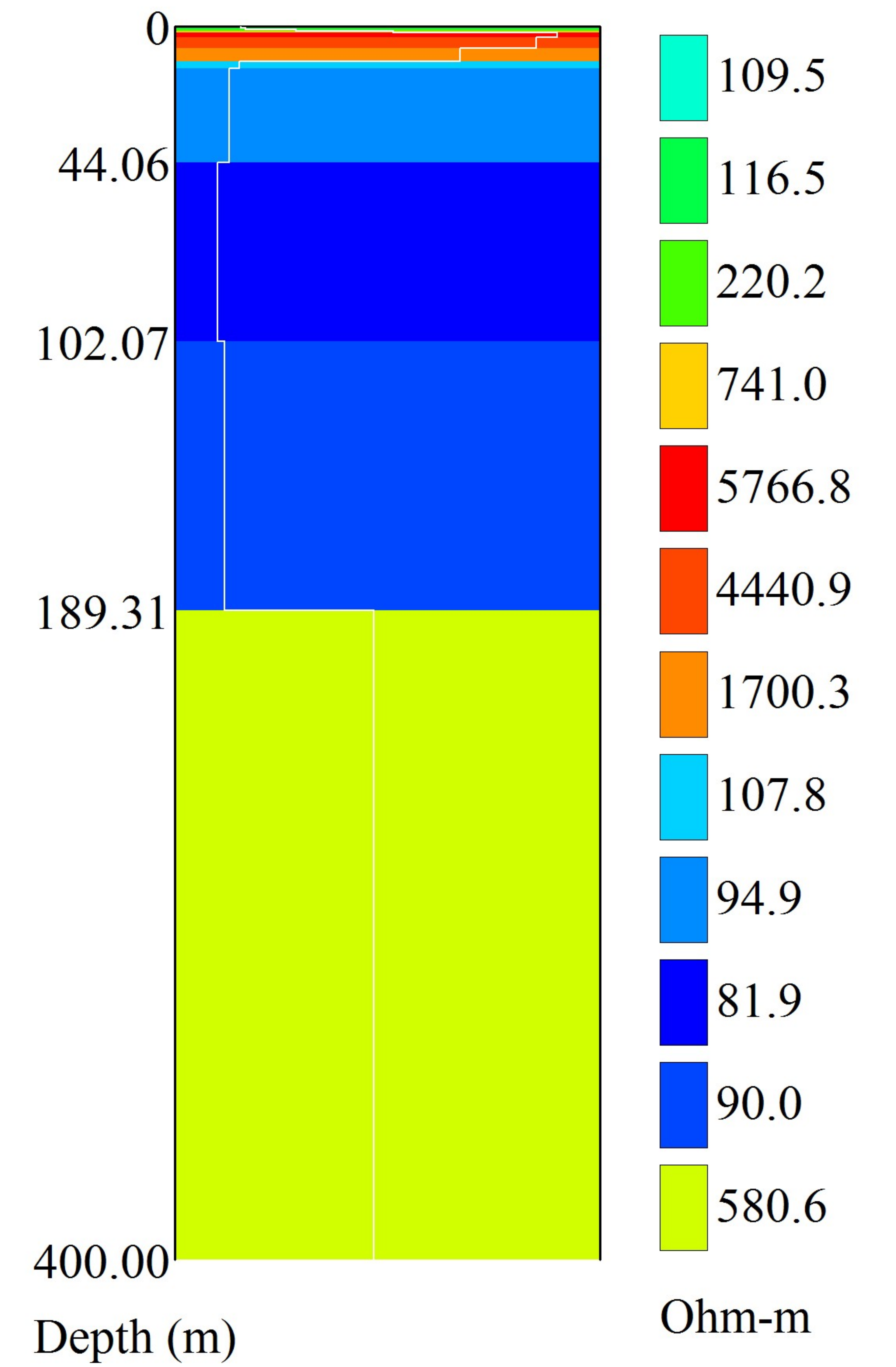
# Layered Resistivity Model



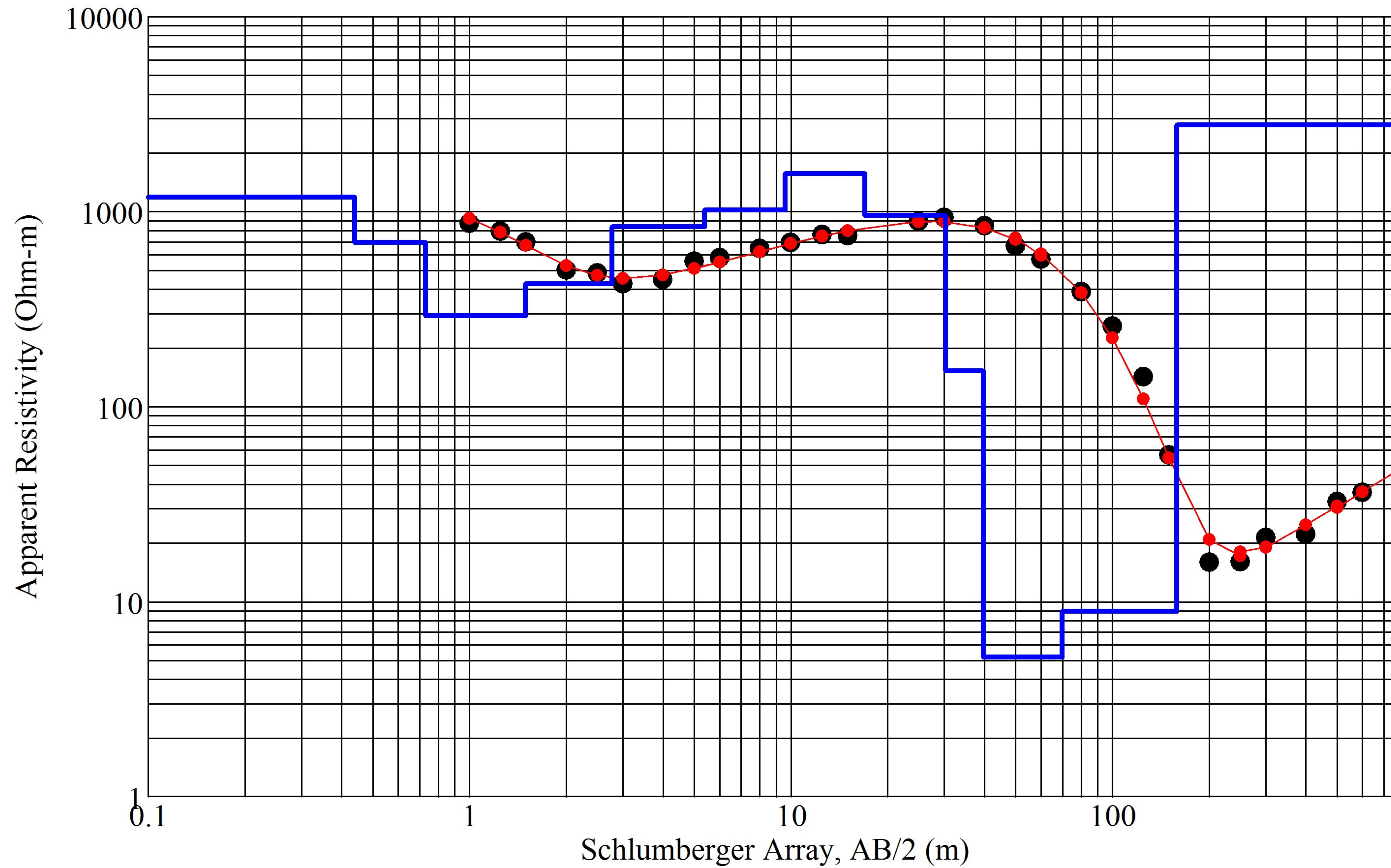
### SEV 29 - Measured and Modeled Data



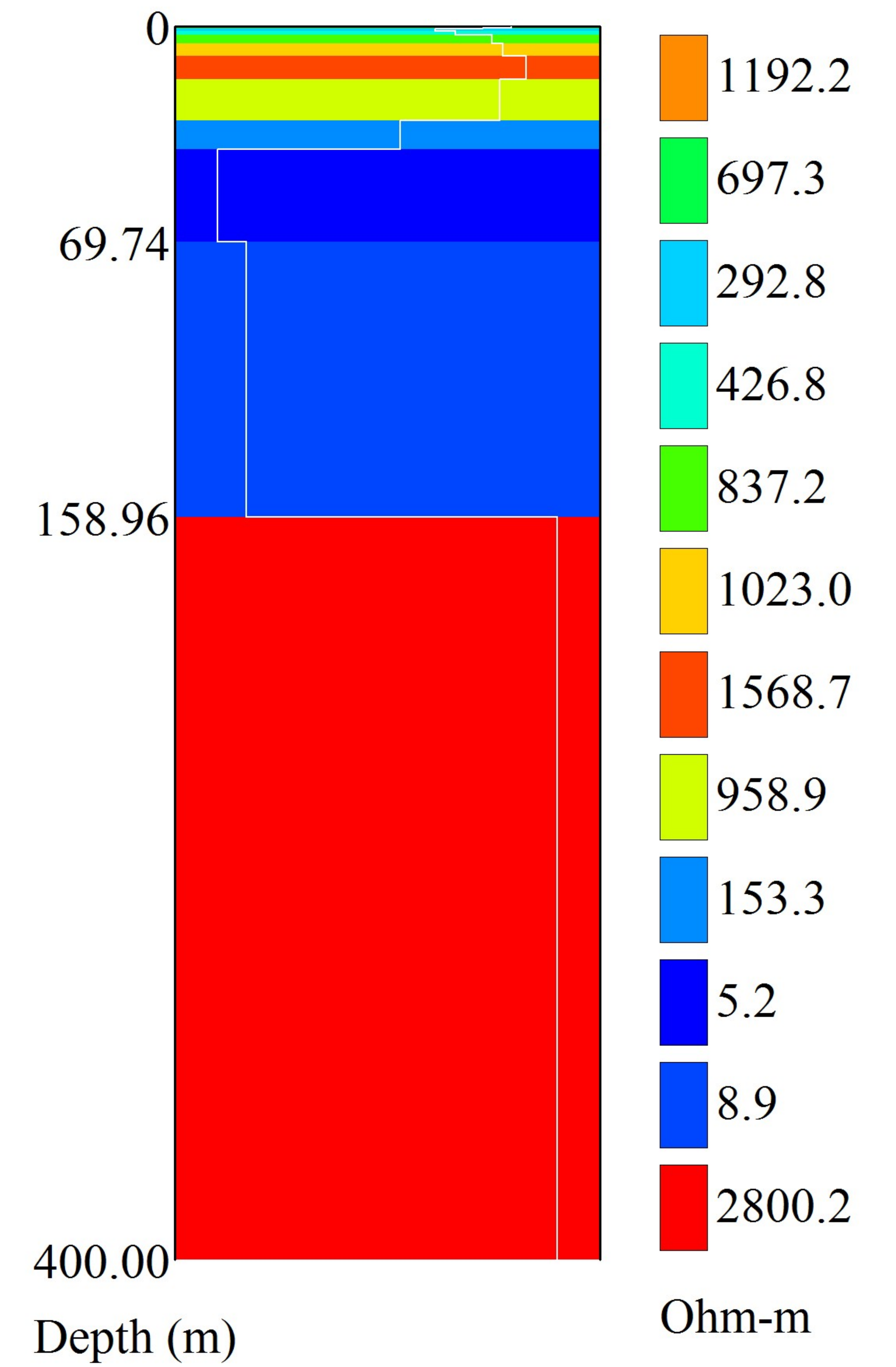
### Layered Resistivity Model



### SEV 30 - Measured and Modeled Data

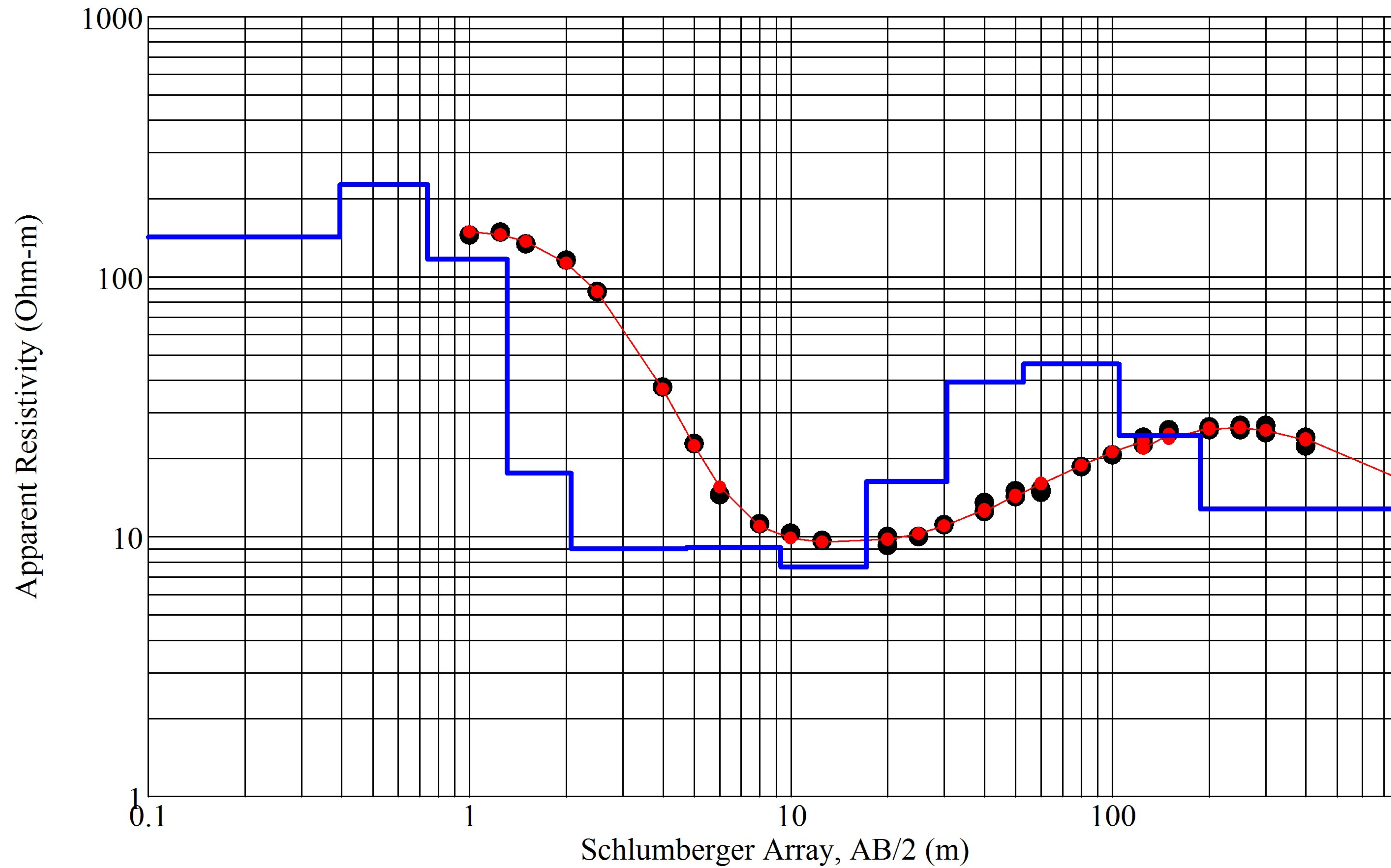


### Layered Resistivity Model



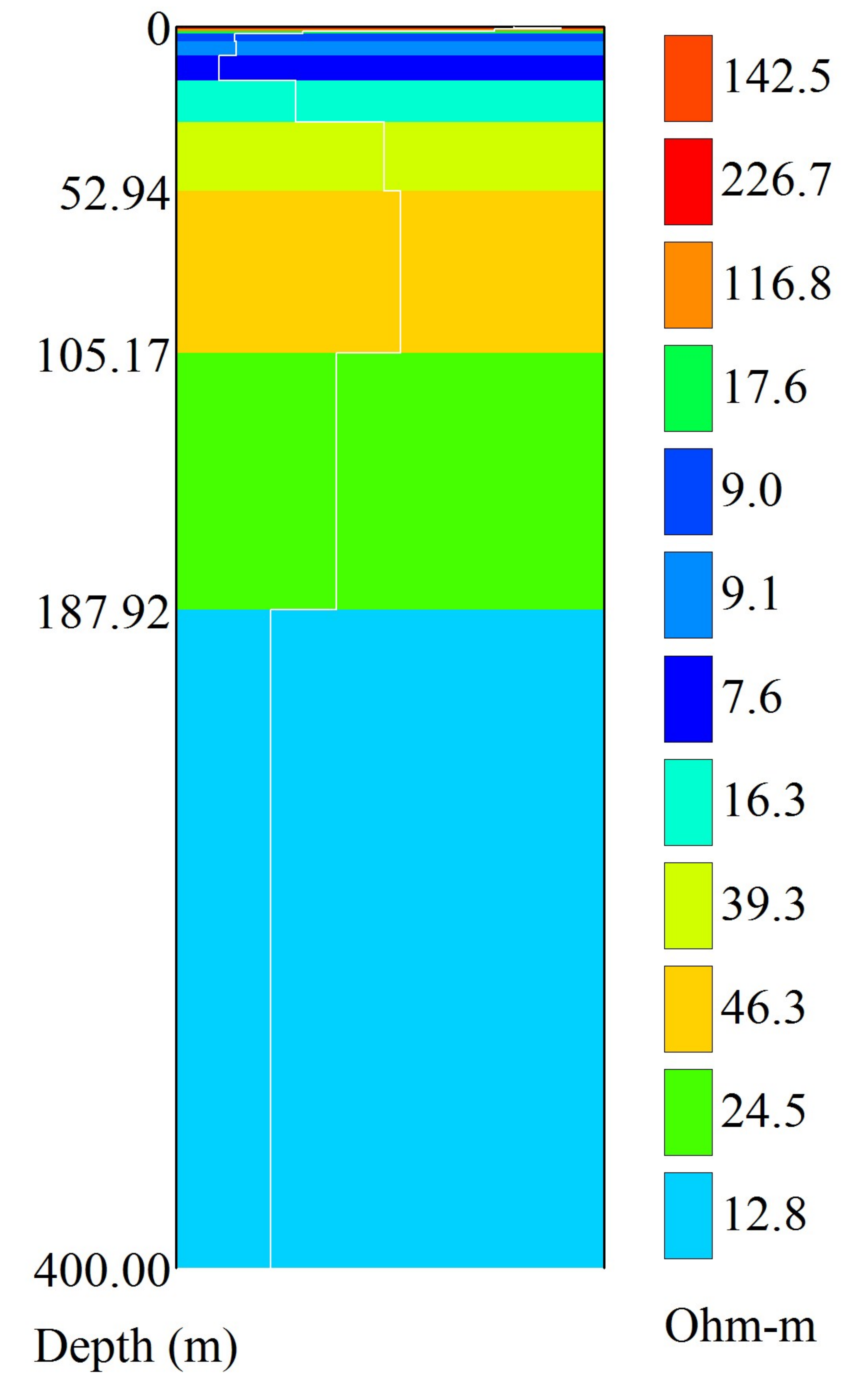


# SEV 31 - Measured and Modeled Data

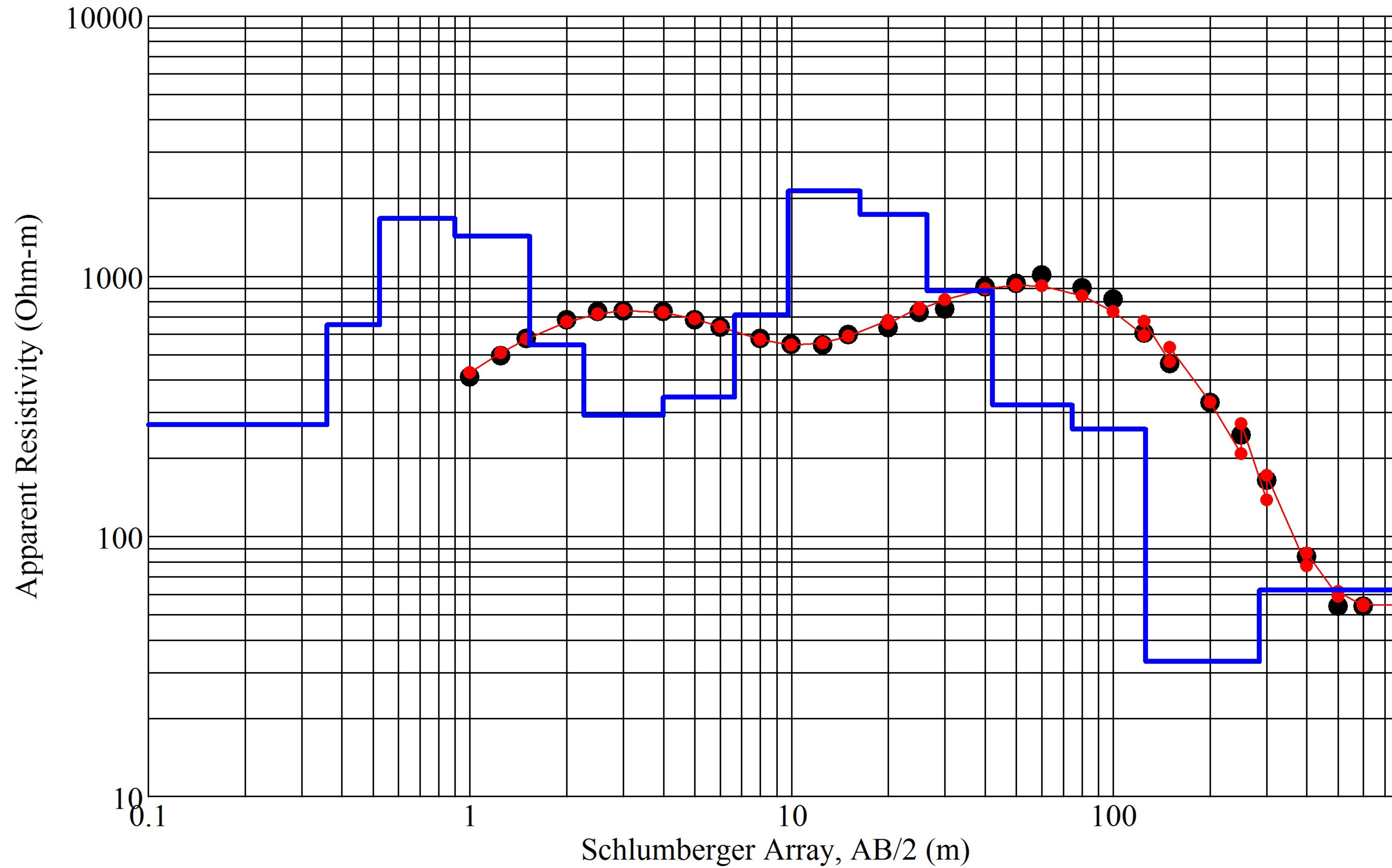


Iteration = 8 RMS = 3.68%

# Layered Resistivity Model

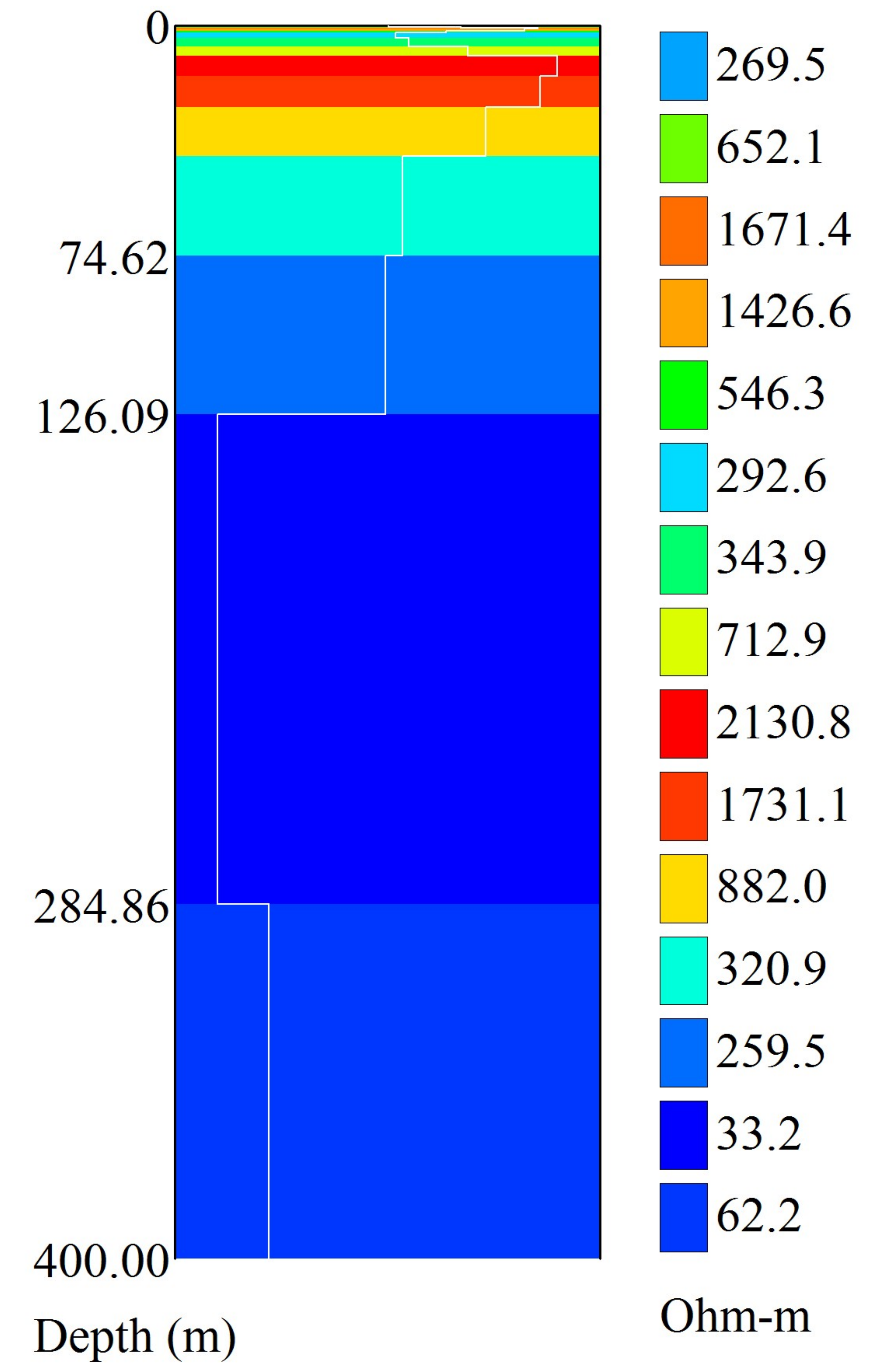


## SEV 32 - Measured and Modeled Data

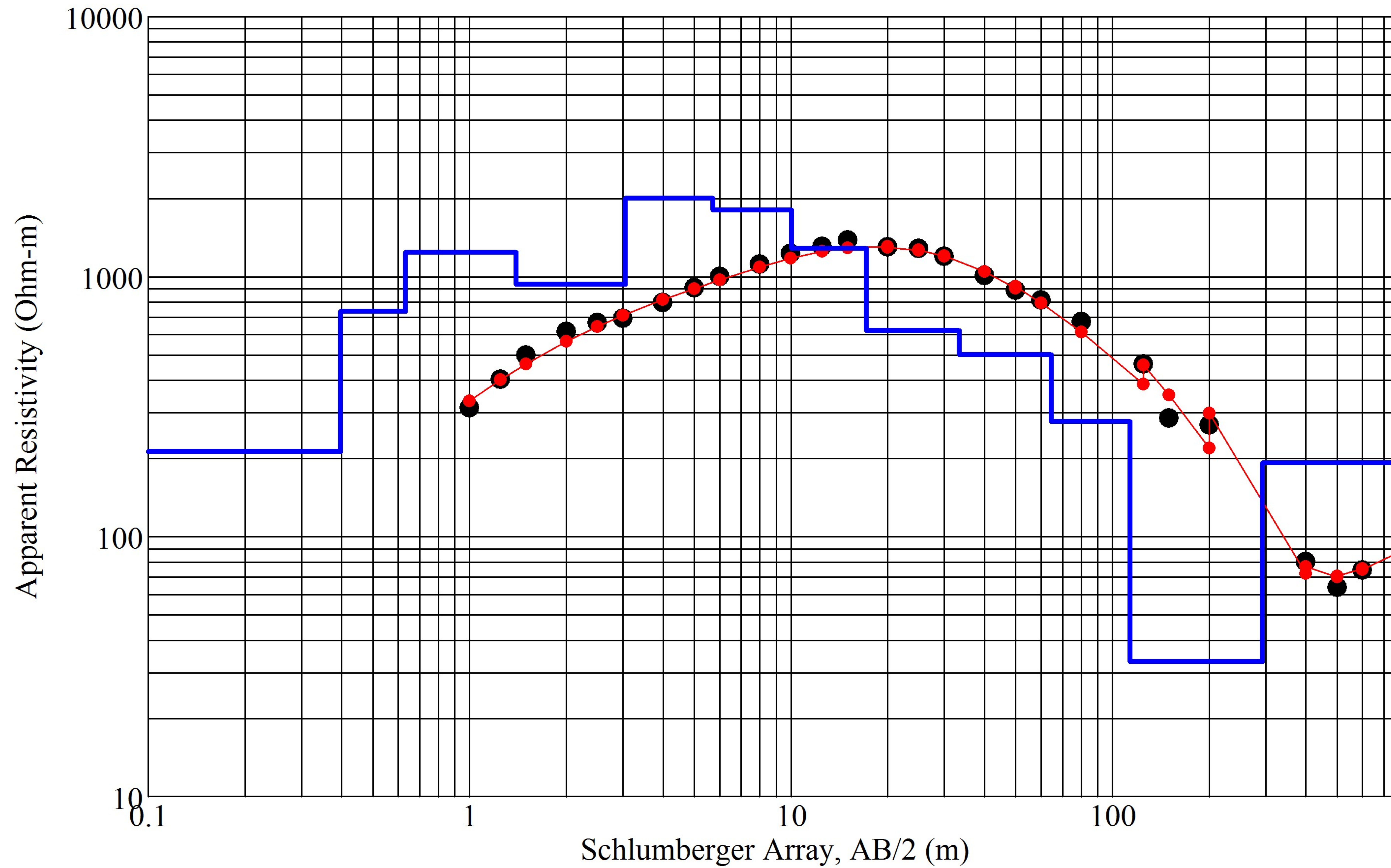


Iteration = 8 RMS = 7.00%

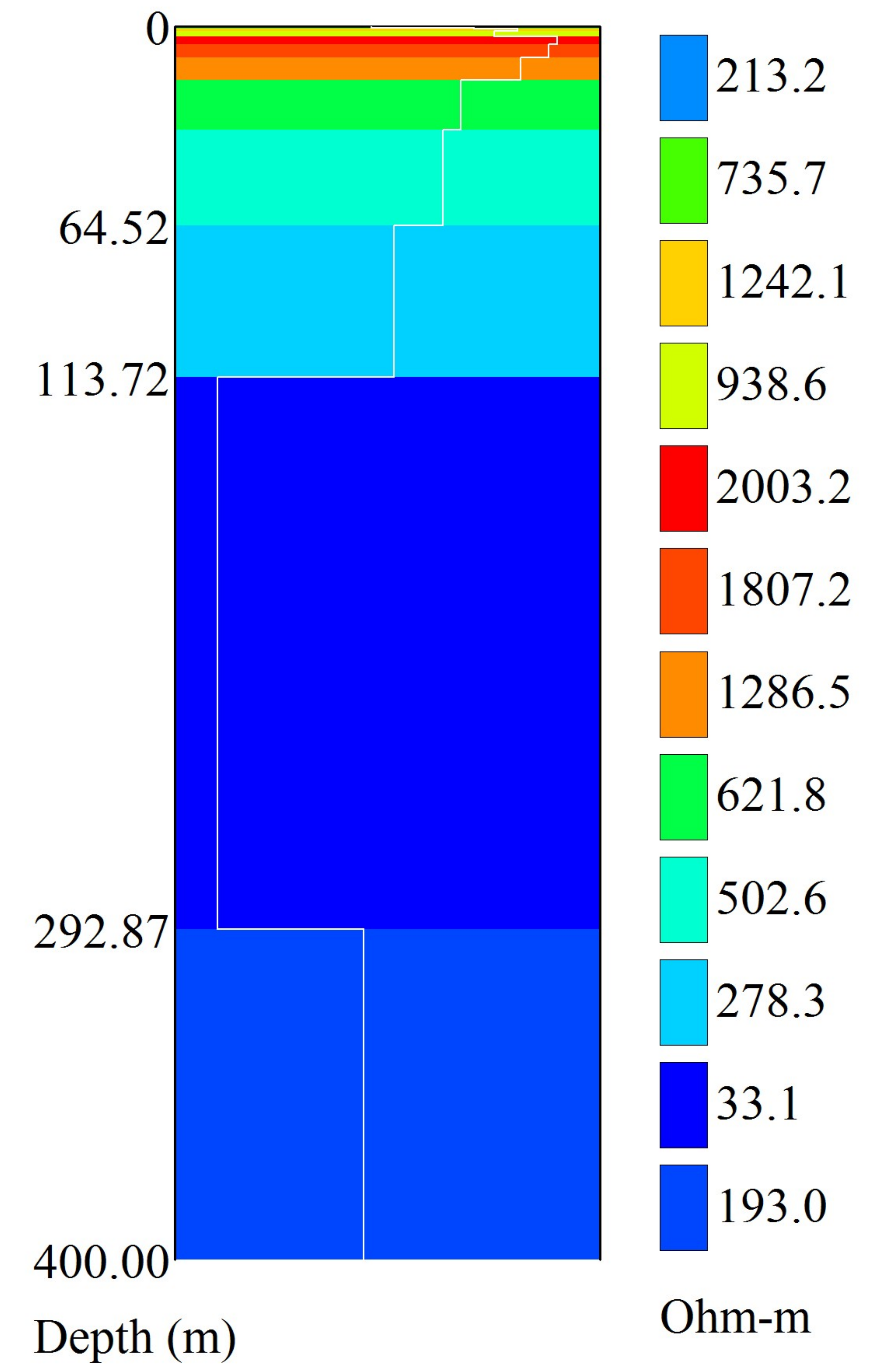
## Layered Resistivity Model



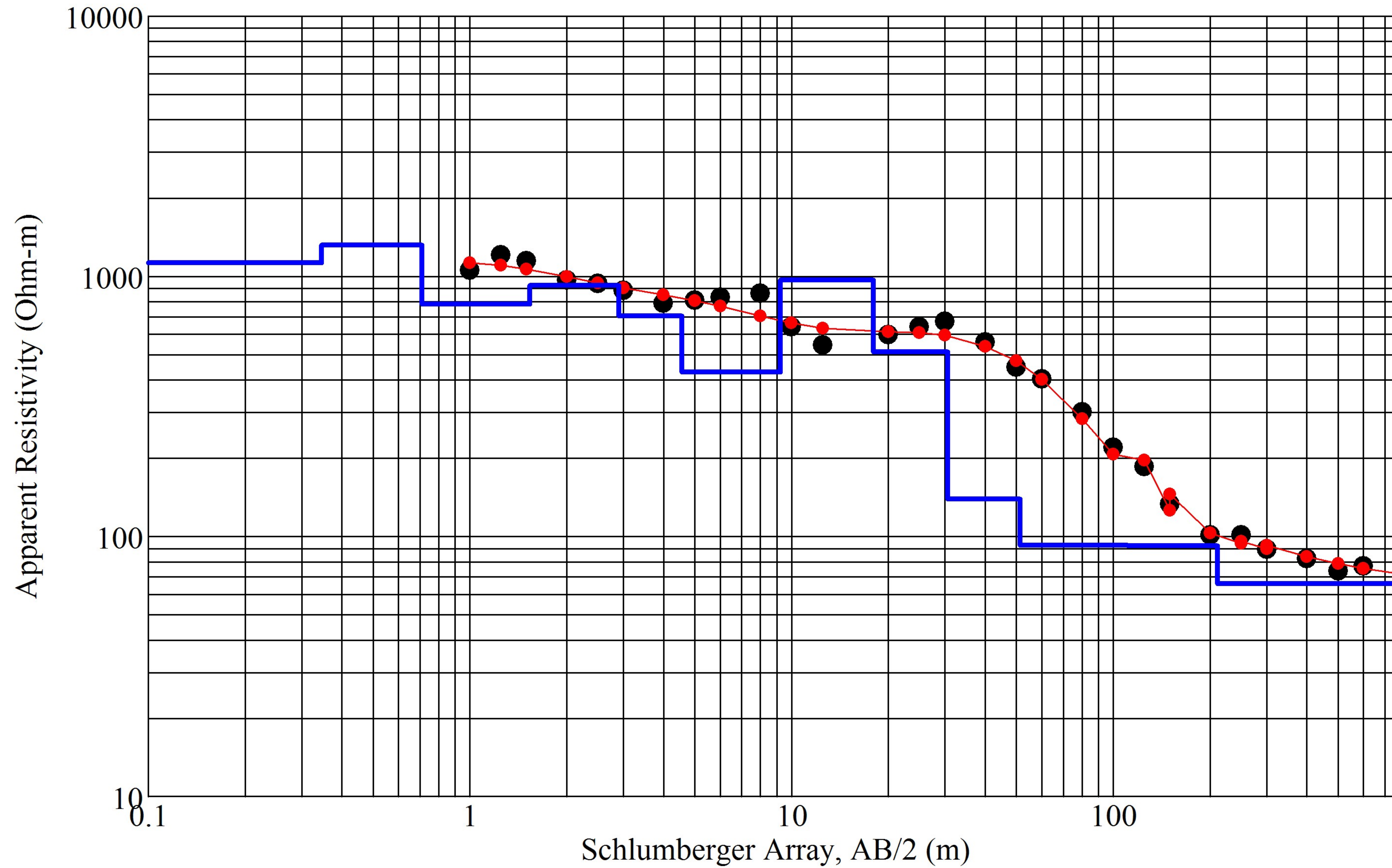
### SEV 33 - Measured and Modeled Data



### Layered Resistivity Model

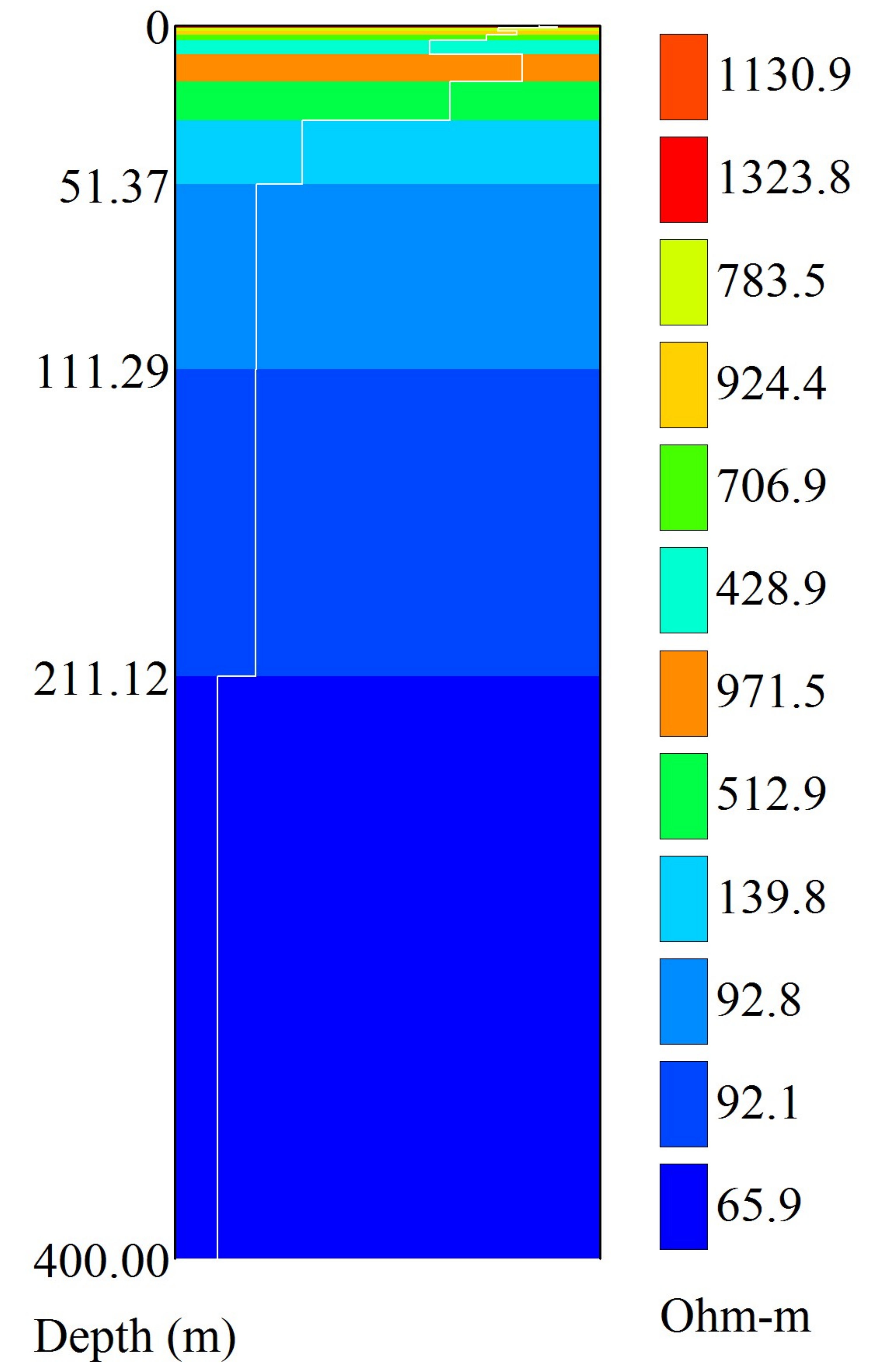


# SEV 34 - Measured and Modeled Data

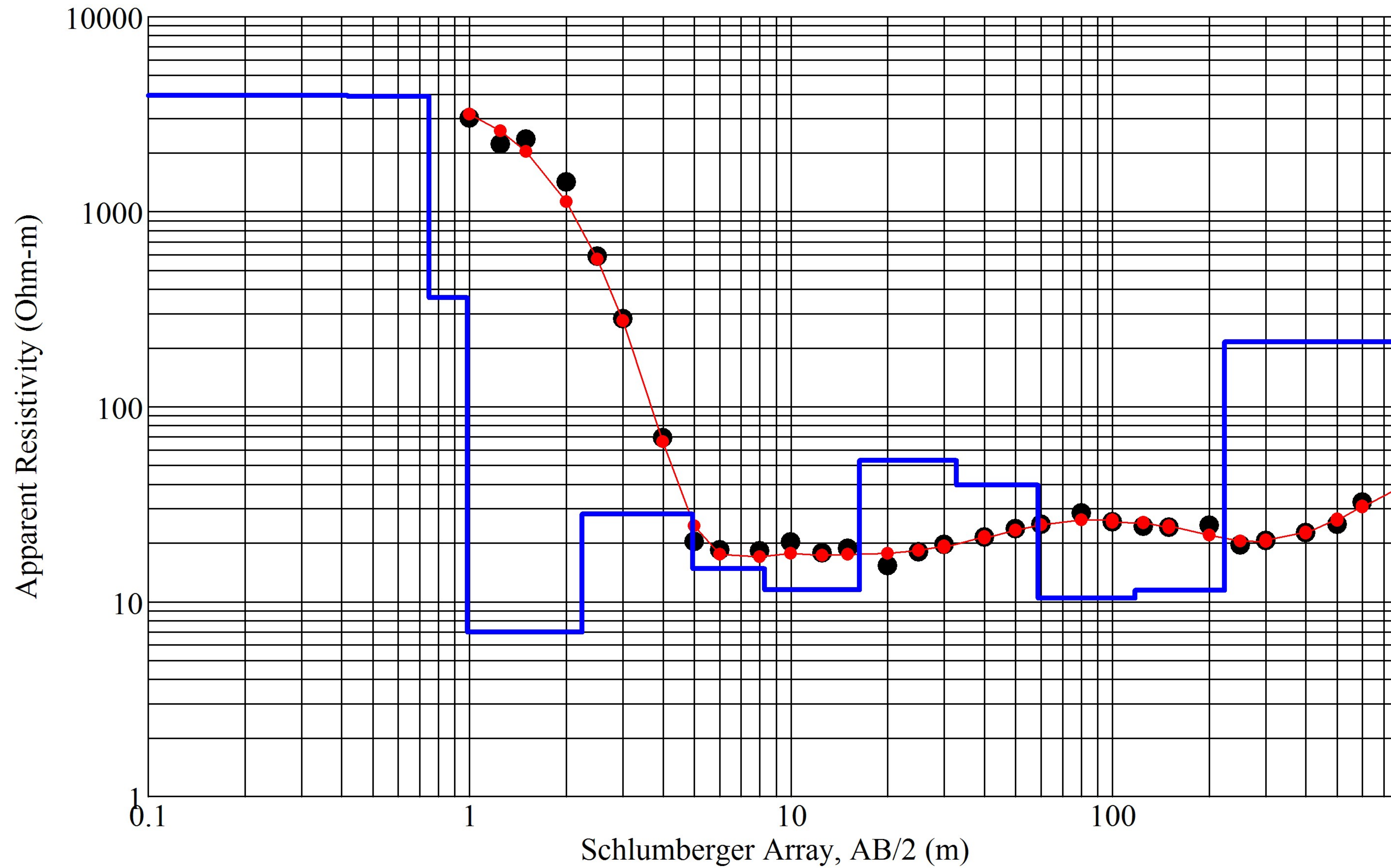


Iteration = 8 RMS = 6.67%

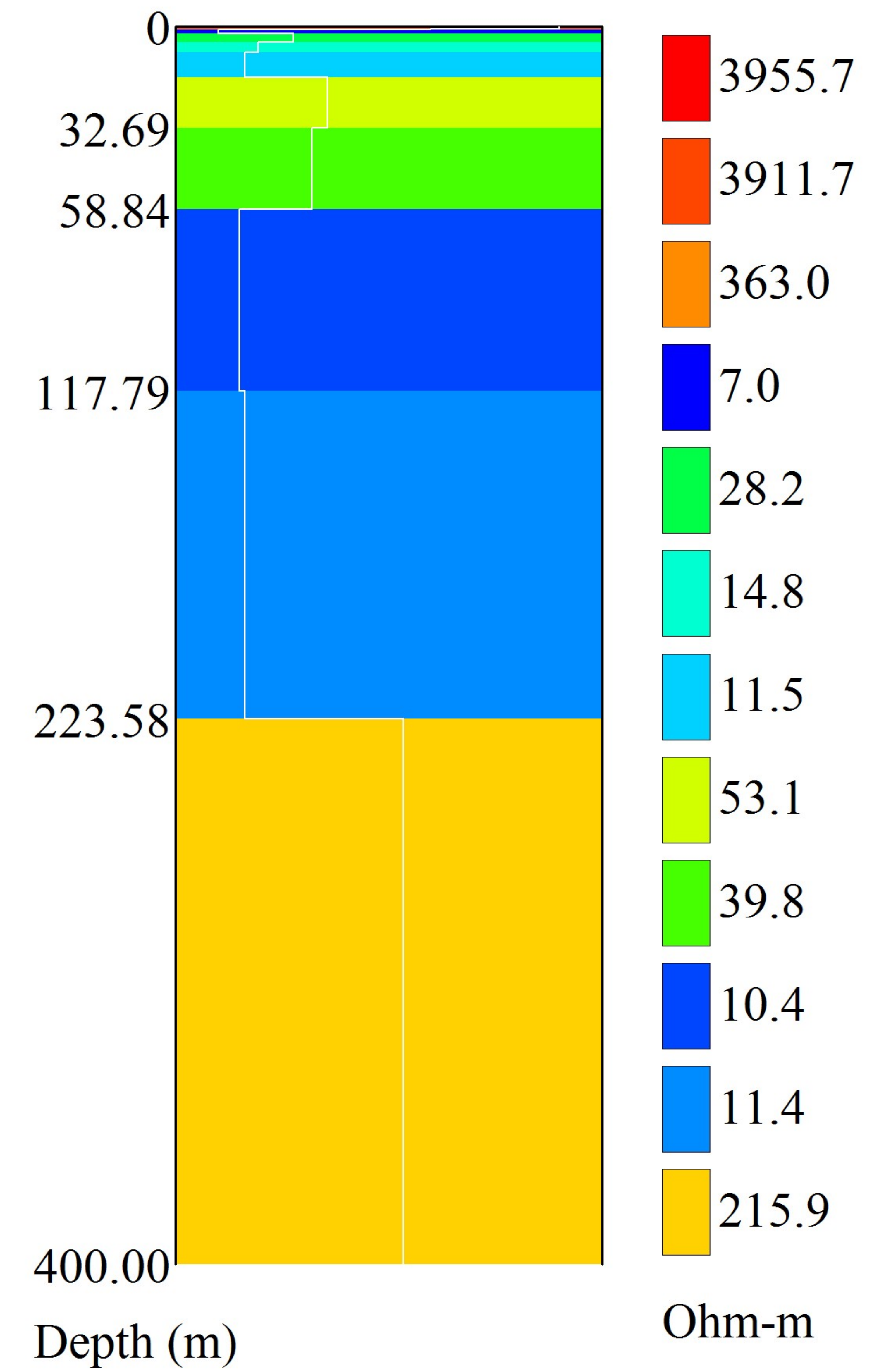
# Layered Resistivity Model



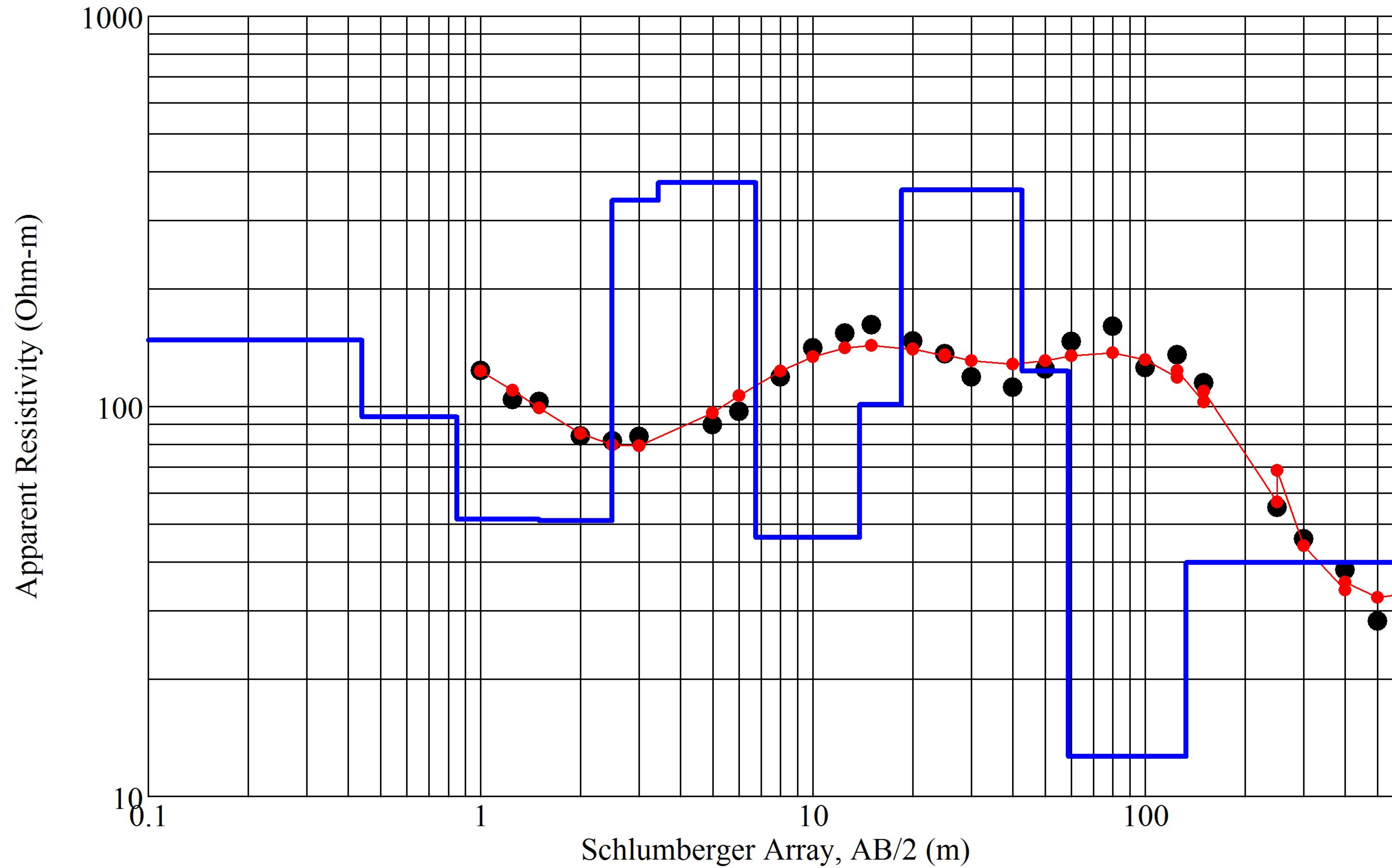
### SEV 35 - Measured and Modeled Data



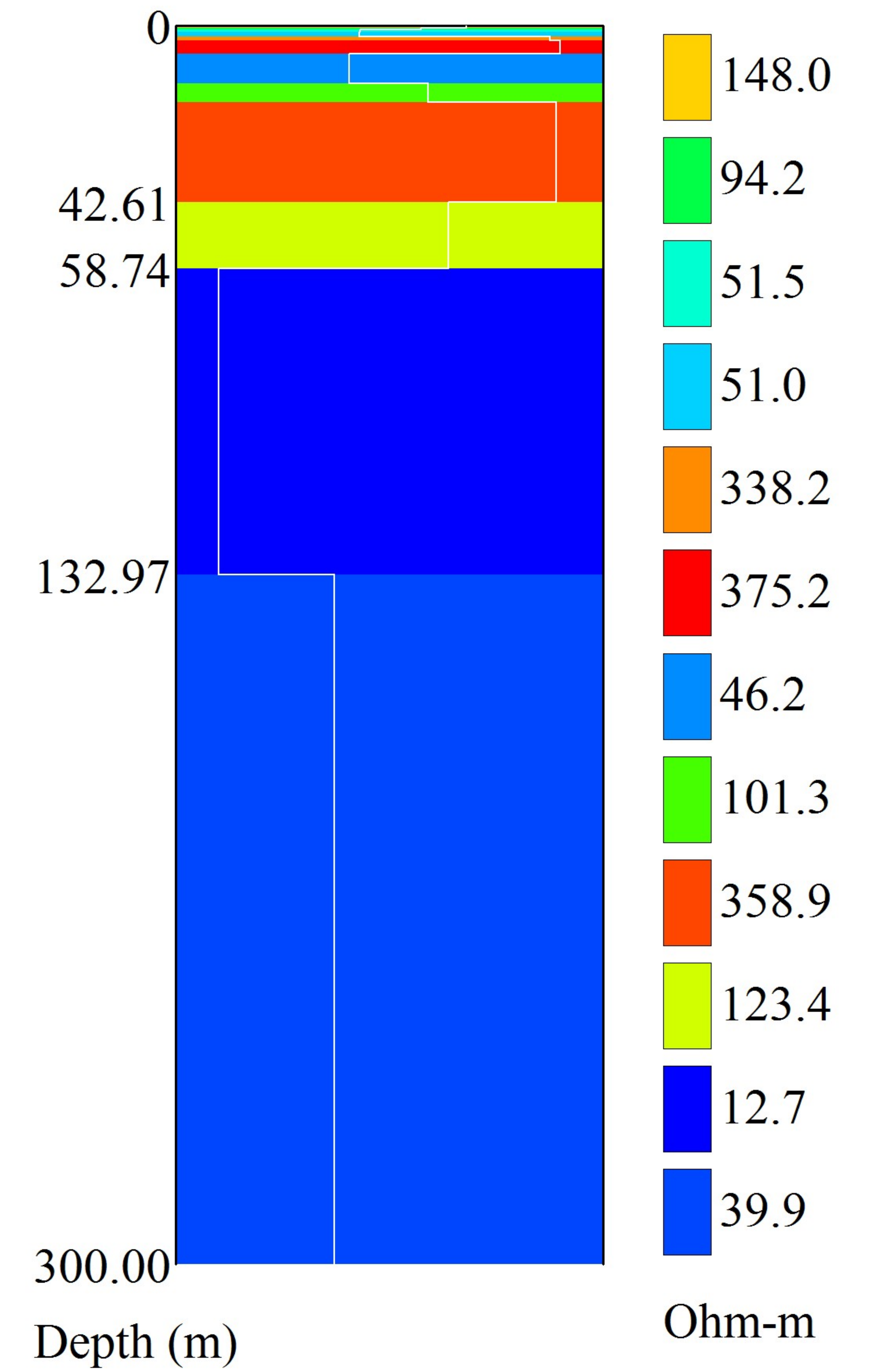
### Layered Resistivity Model



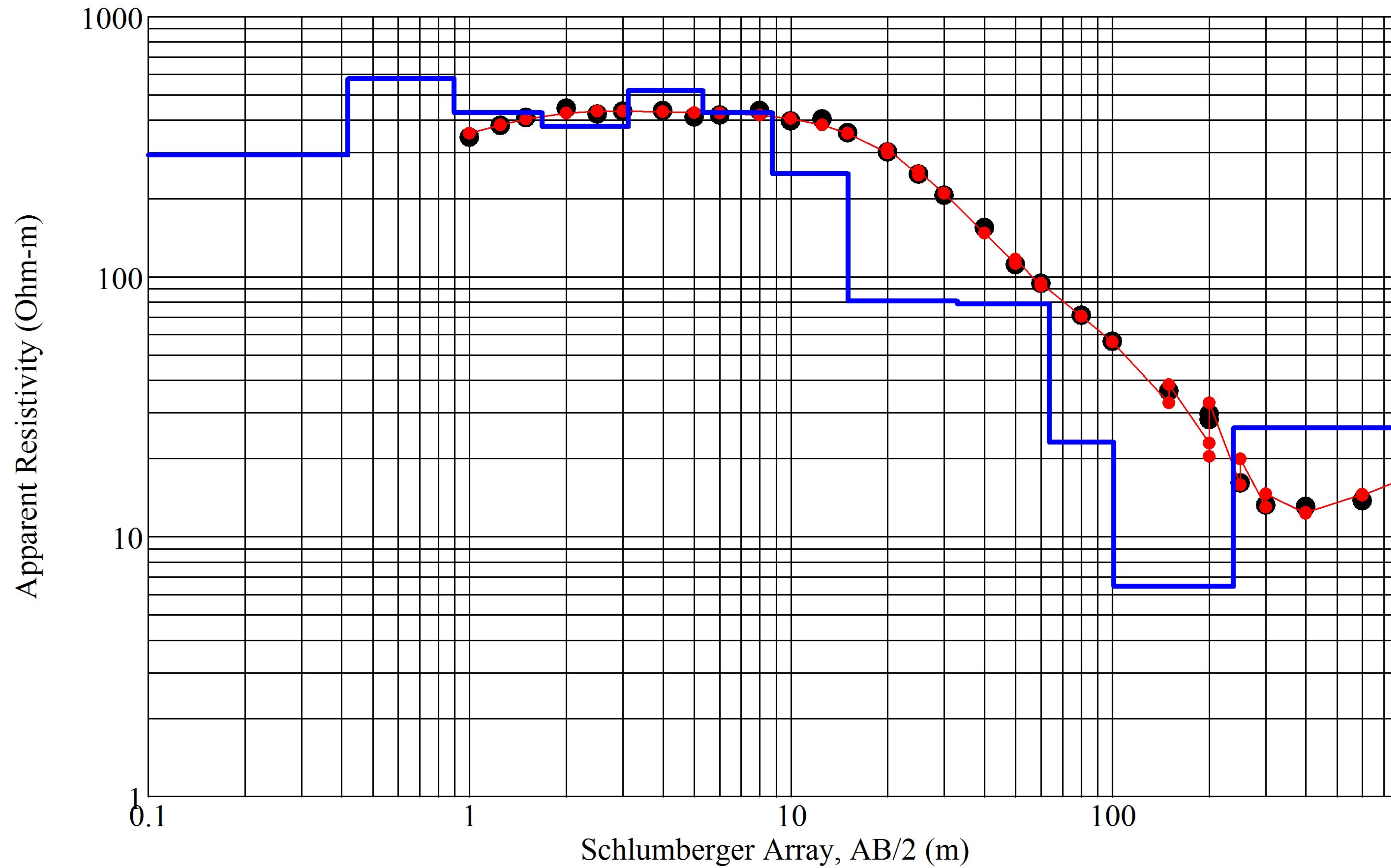
### SEV 36 - Measured and Modeled Data



### Layered Resistivity Model

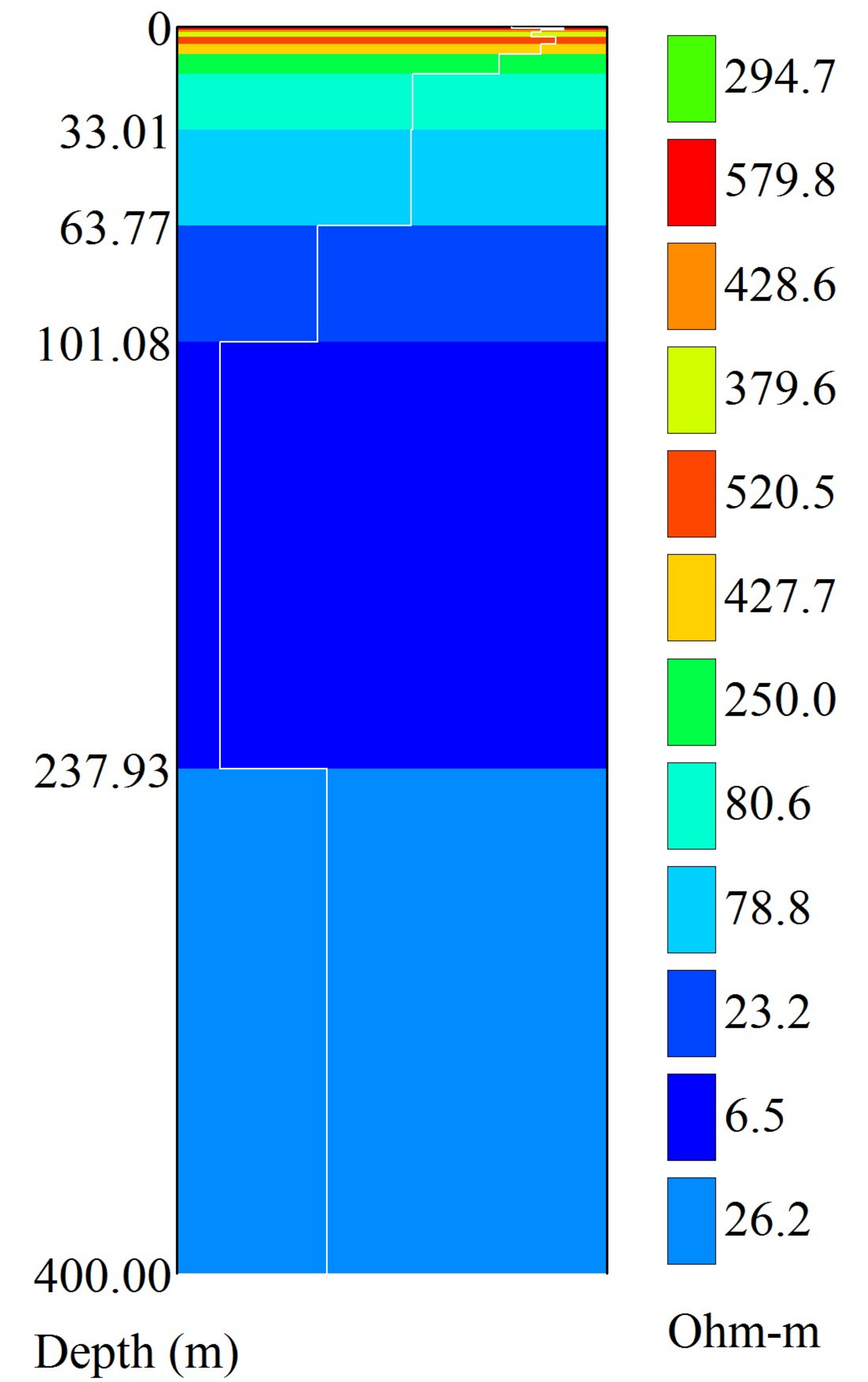


### SEV 37 - Measured and Modeled Data

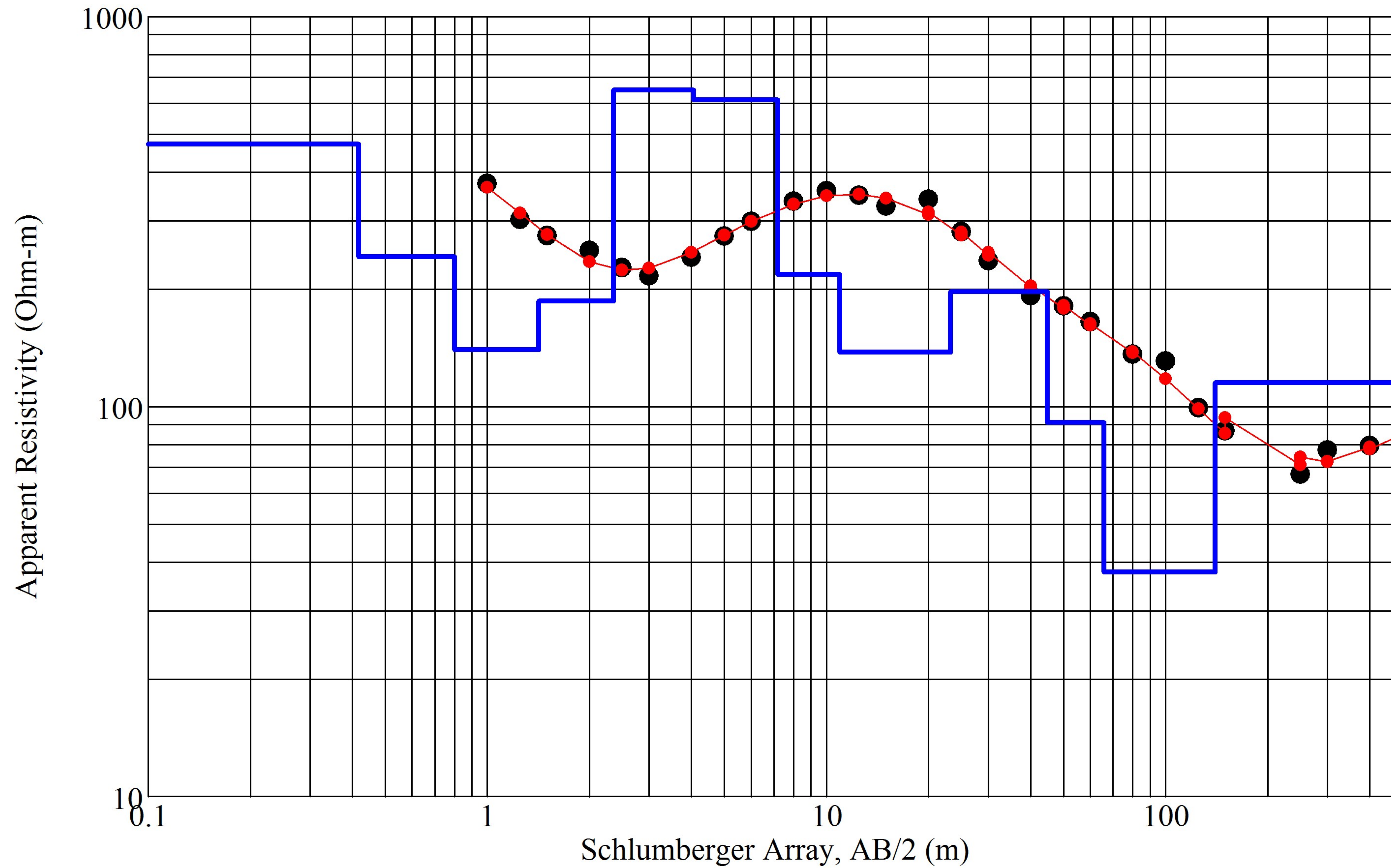


Iteration = 8 RMS = 8.02%

### Layered Resistivity Model

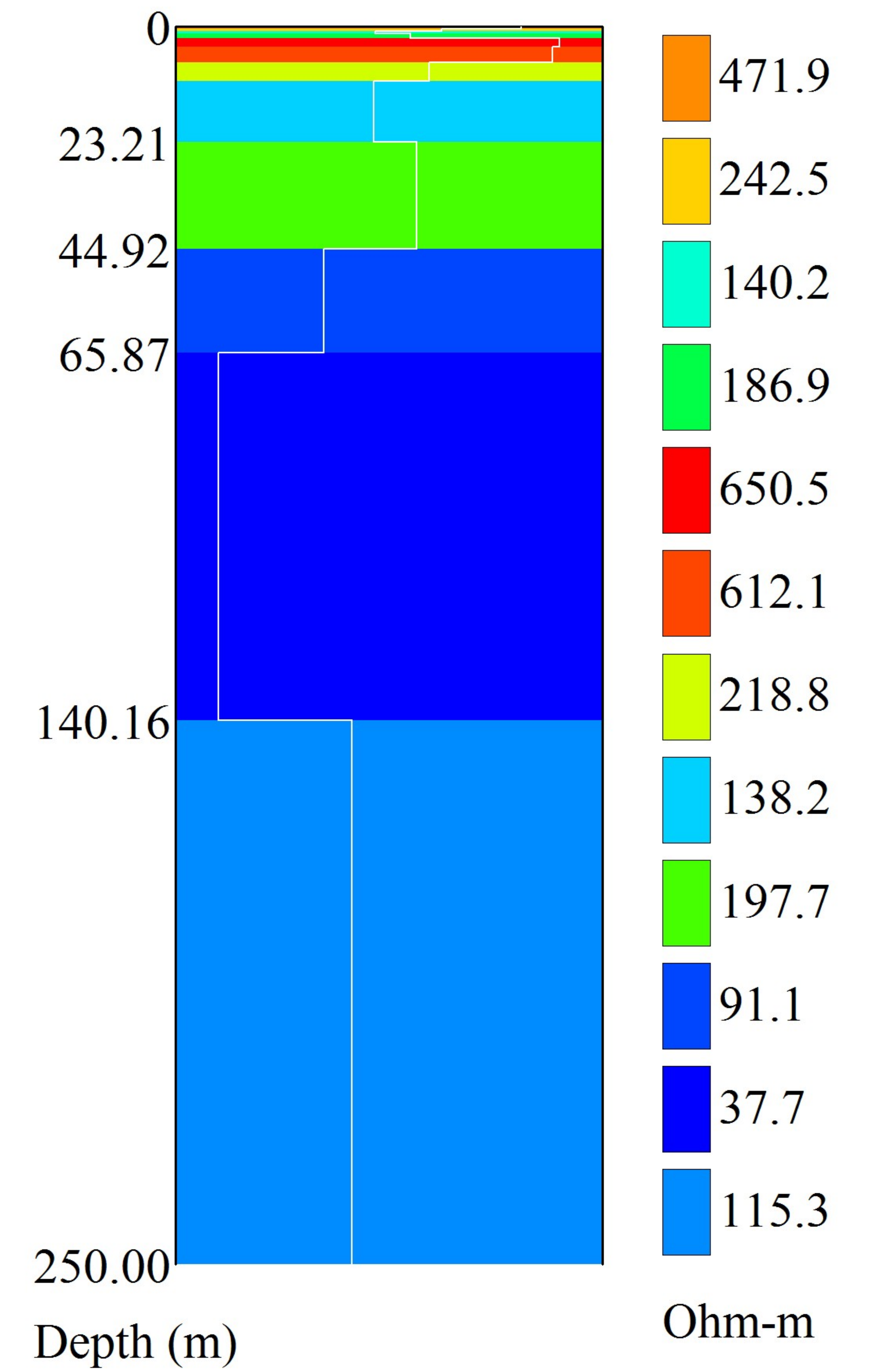


### SEV 38 - Measured and Modeled Data



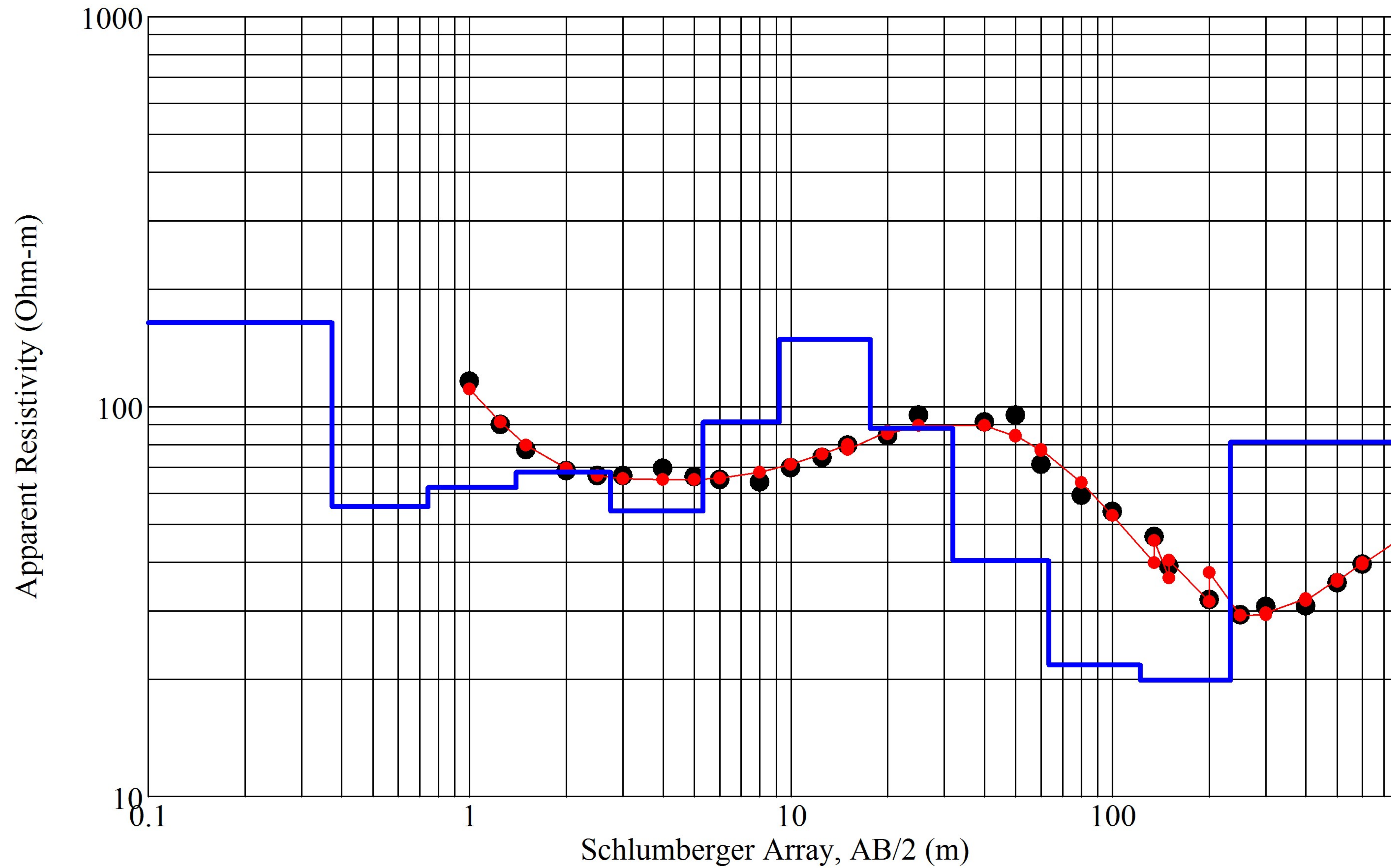
Iteration = 8 RMS = 4.48%

### Layered Resistivity Model



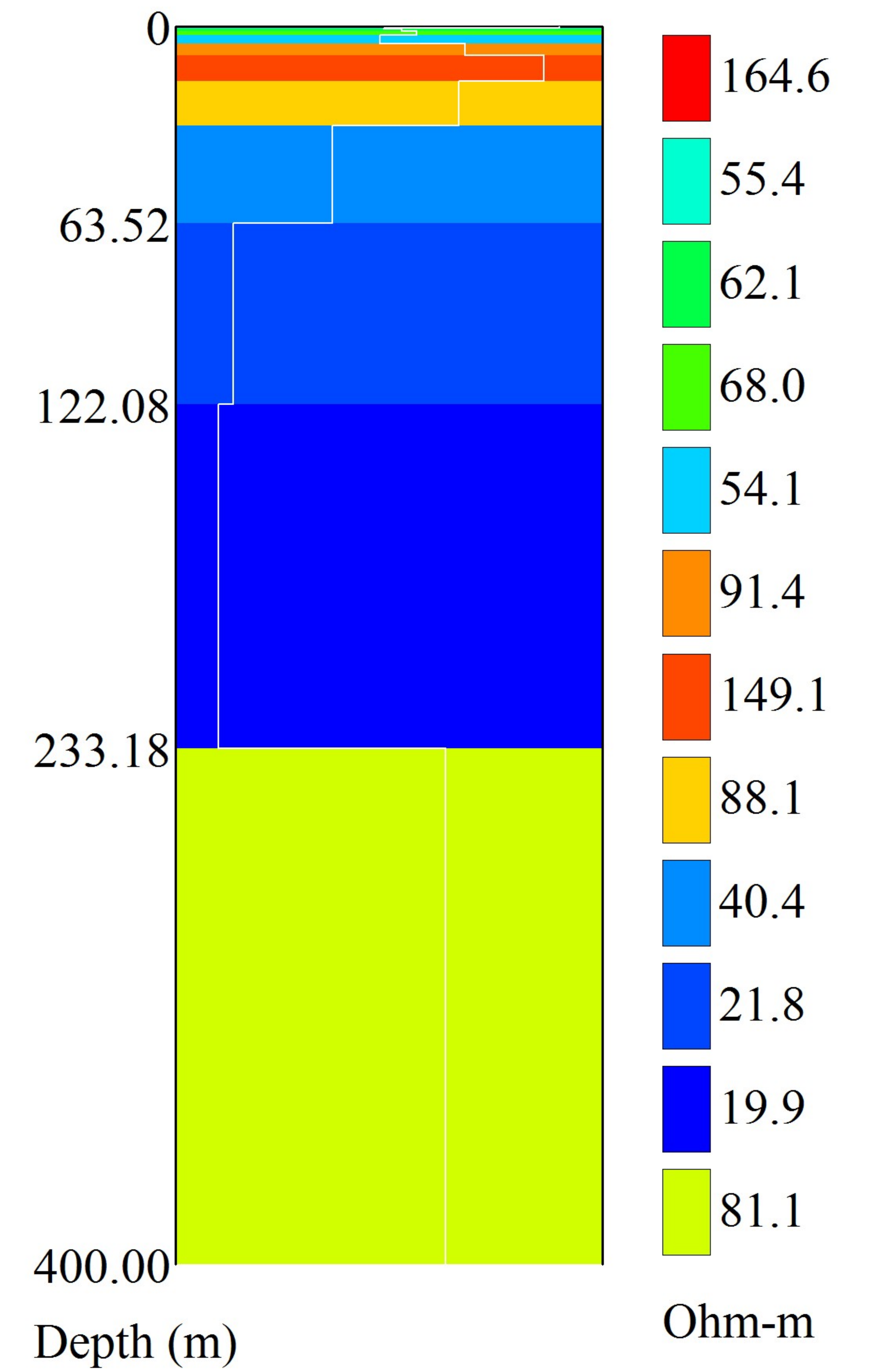


# SEV 39 - Measured and Modeled Data

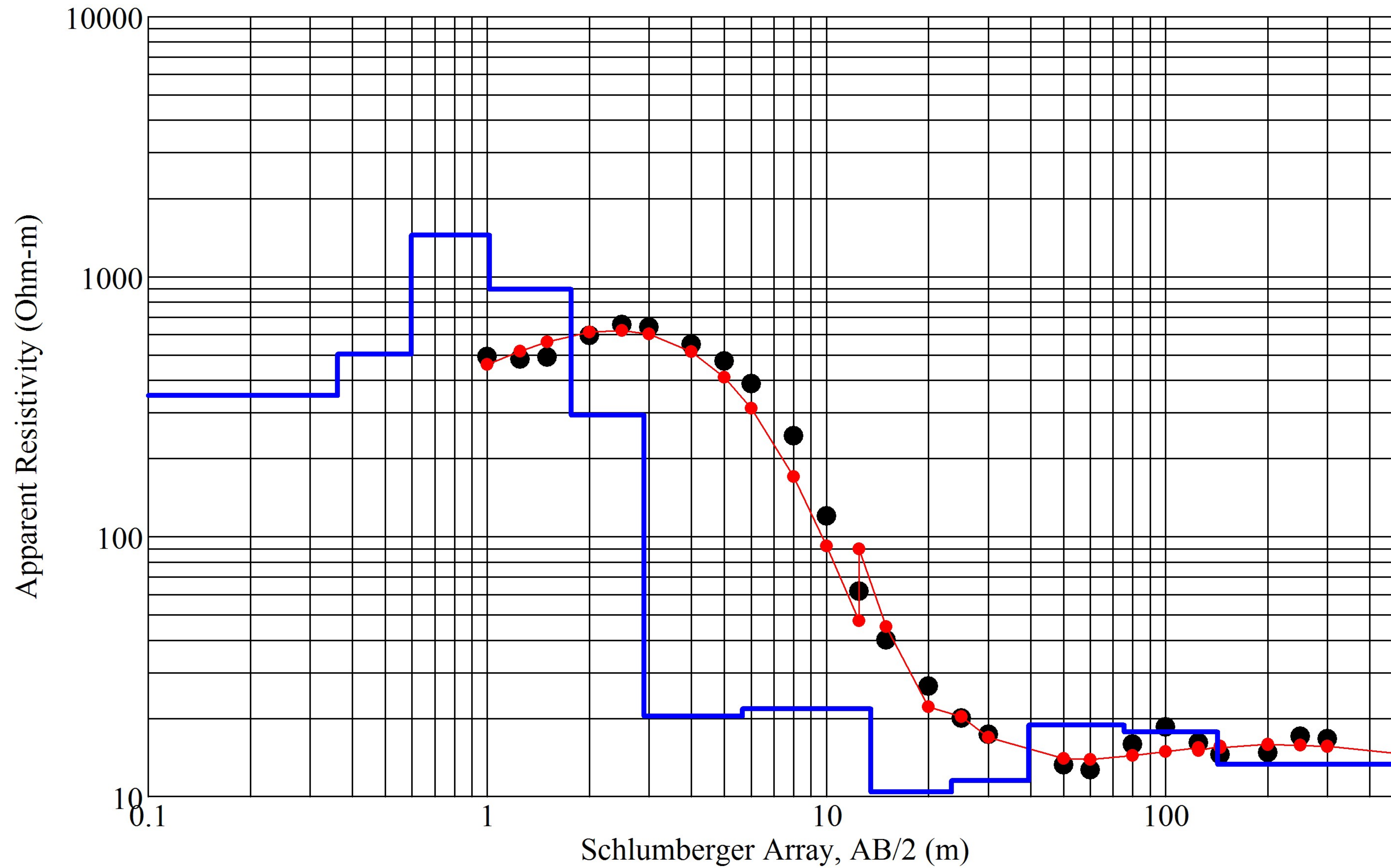


Iteration = 8 RMS = 5.83%

# Layered Resistivity Model

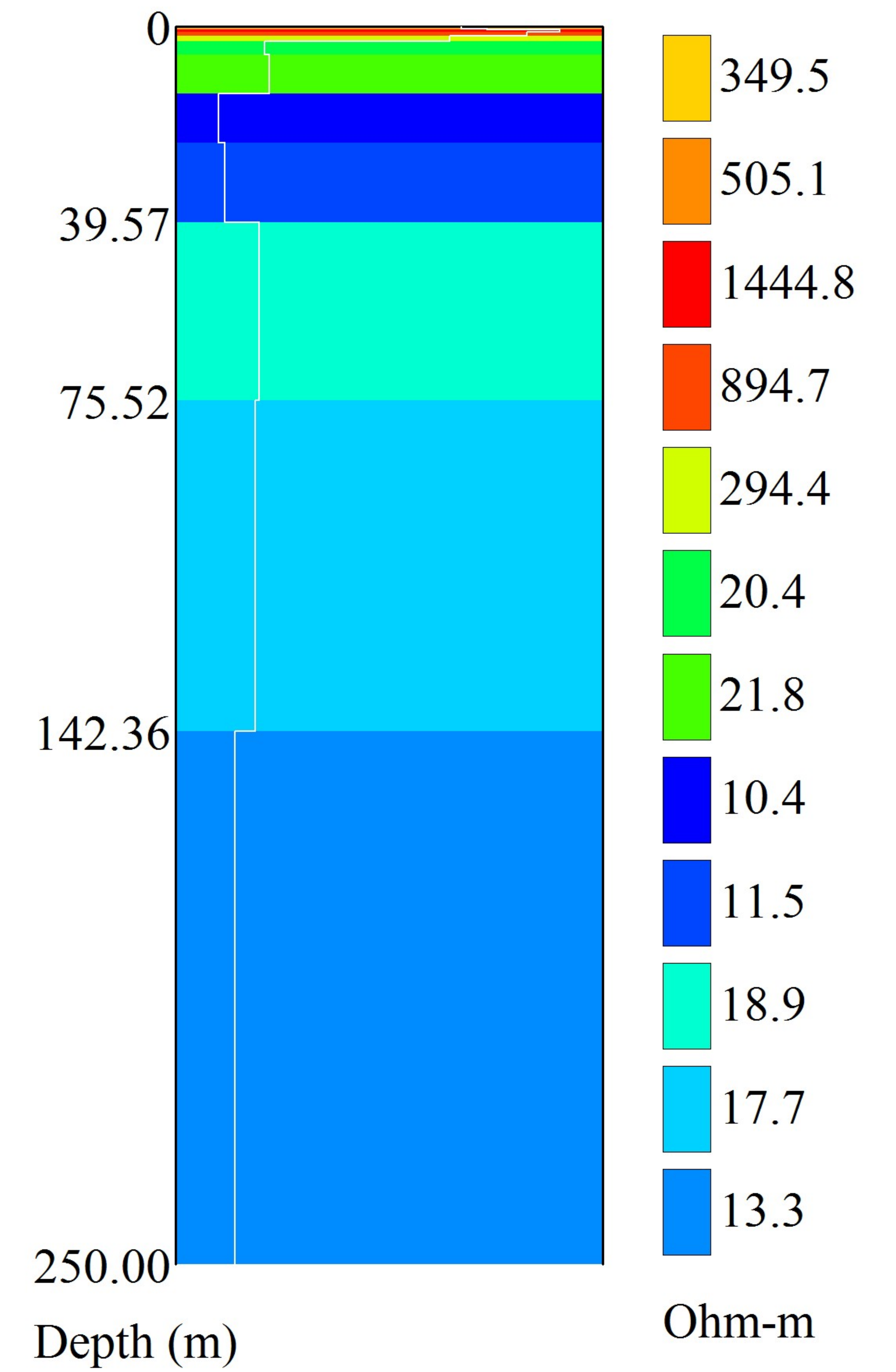


### SEV 40 - Measured and Modeled Data

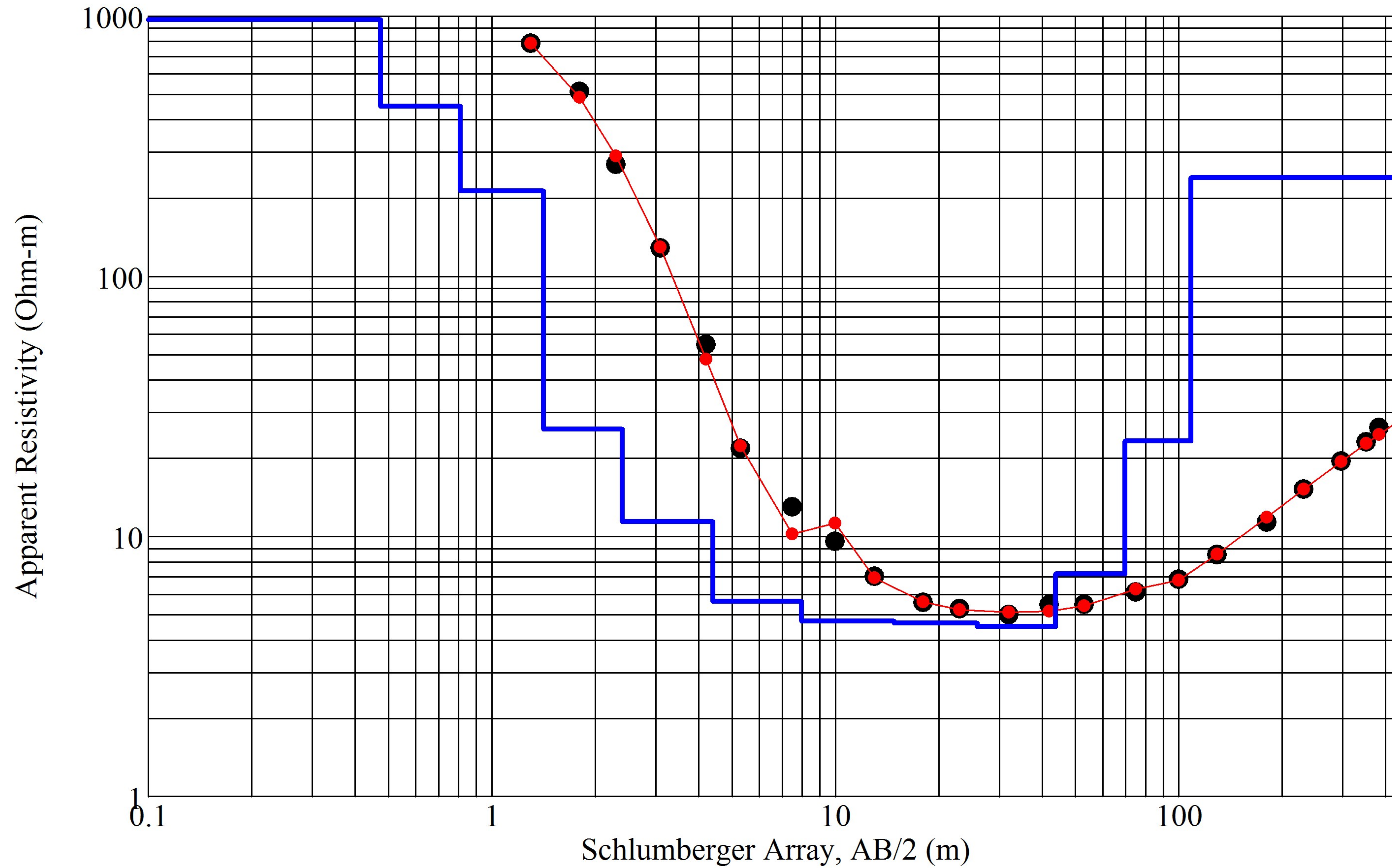


Iteration = 8 RMS = 14.24%

### Layered Resistivity Model

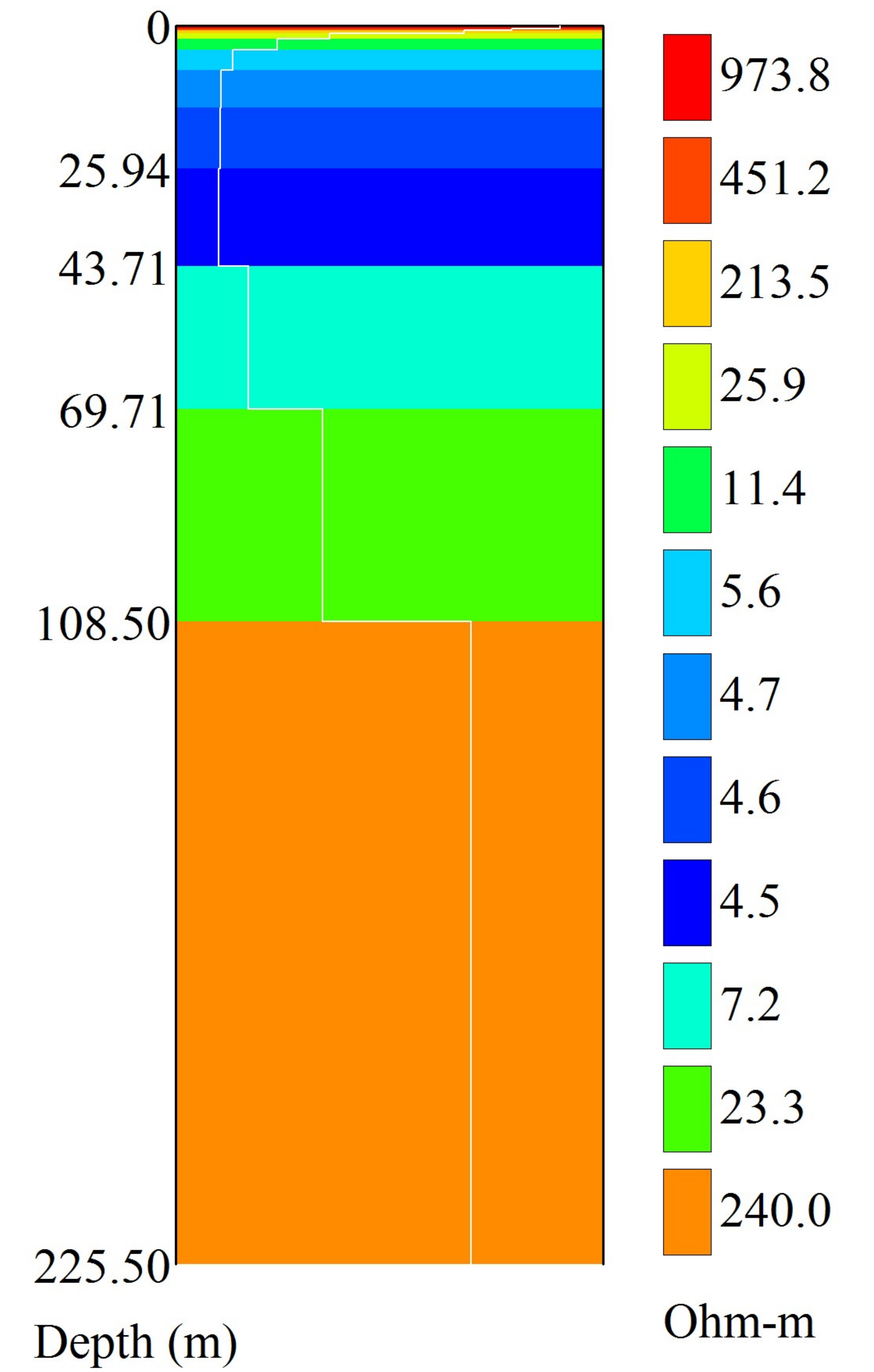


# SEV 01 Mendes - Measured and Modeled Data

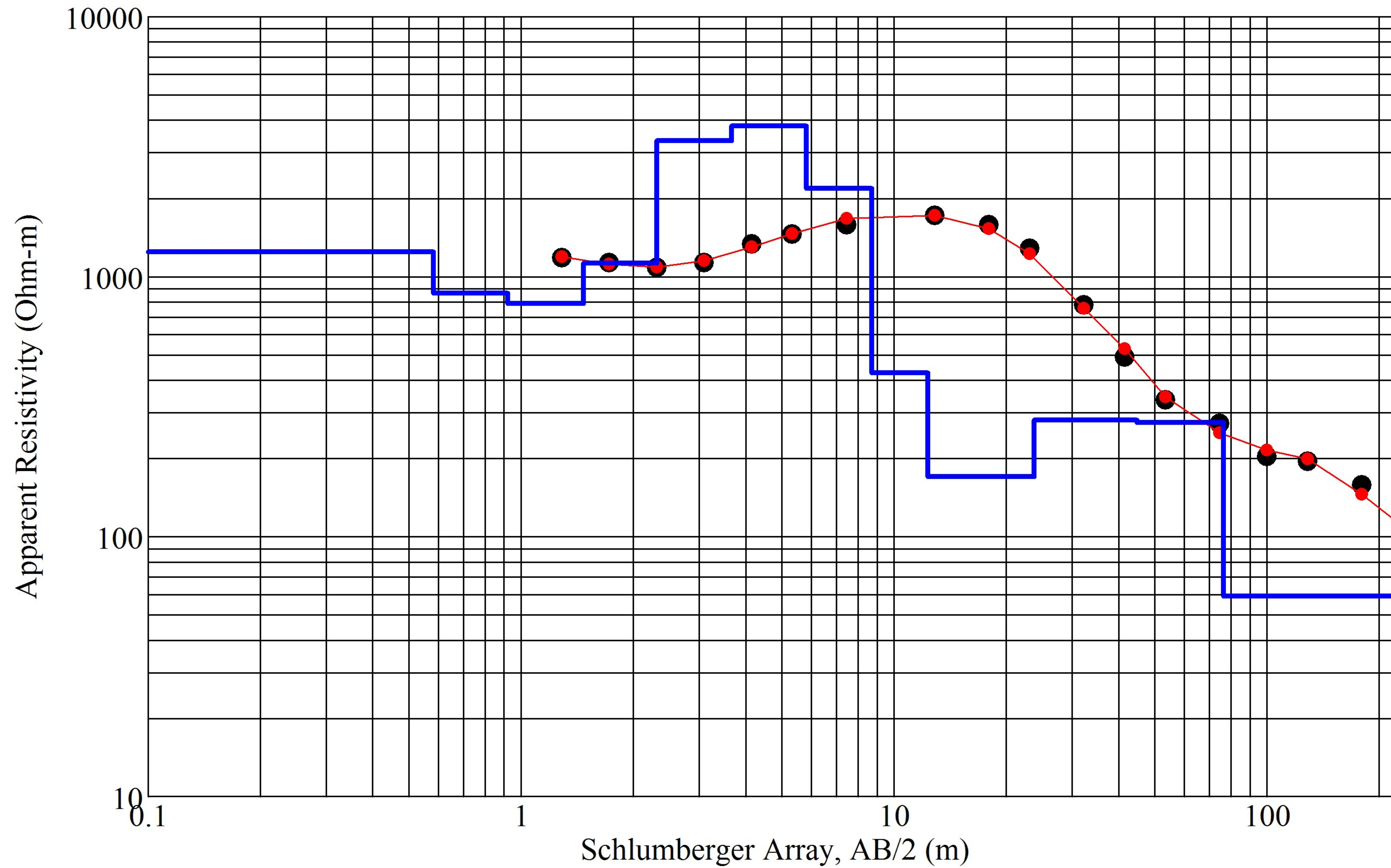


Iteration = 8 RMS = 6.95%

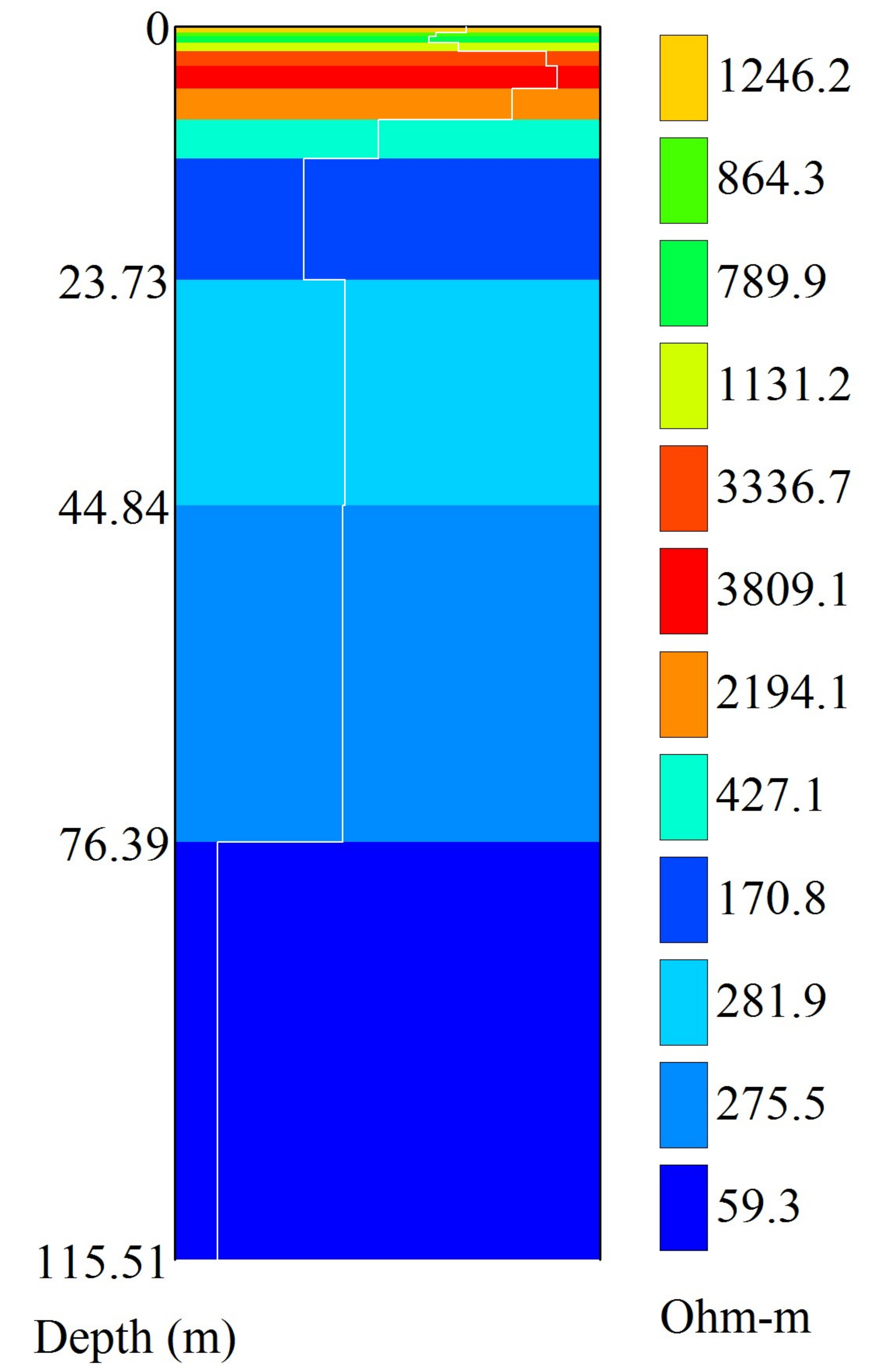
# Layered Resistivity Model



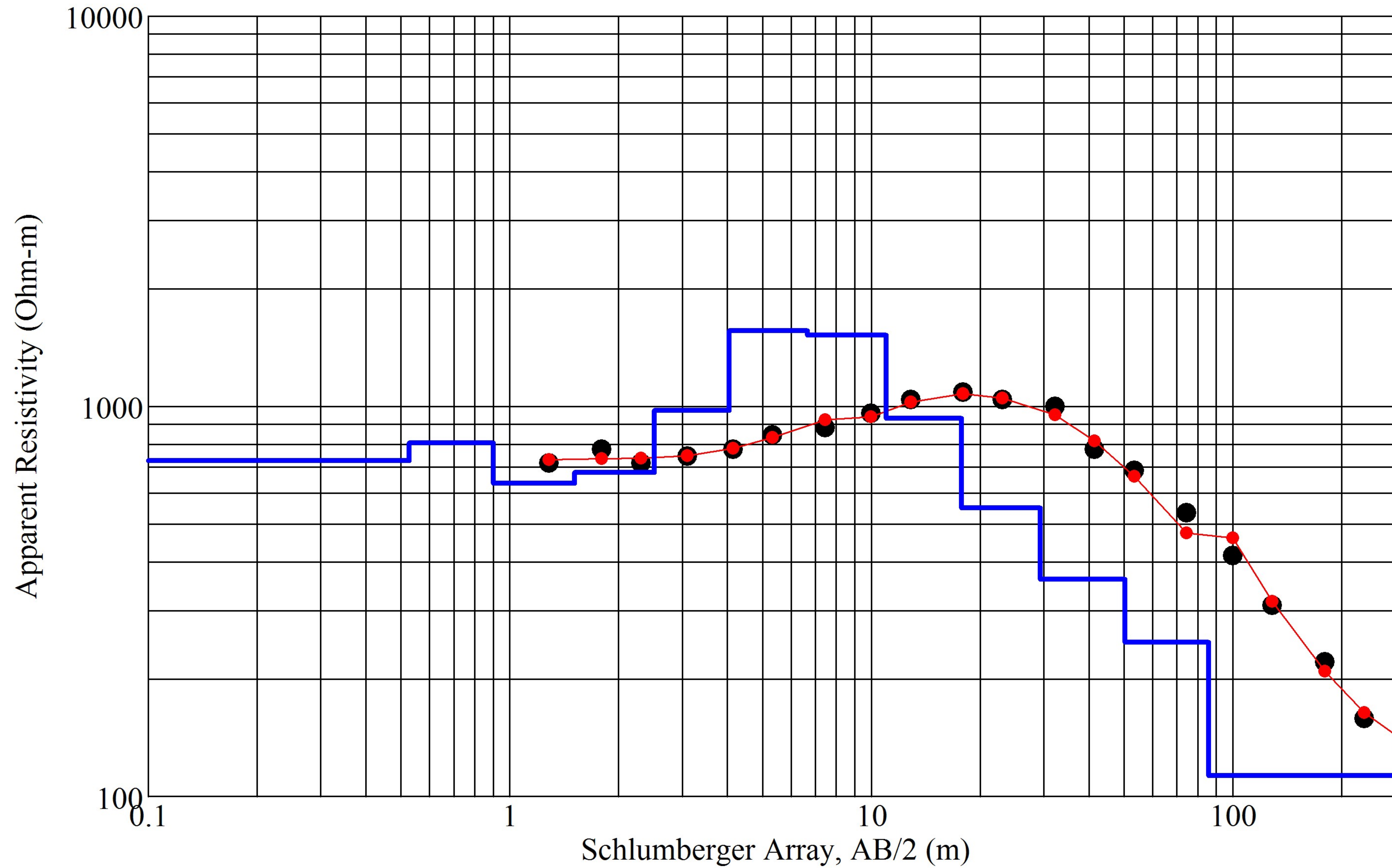
### SEV 02 Mendes - Measured and Modeled Data



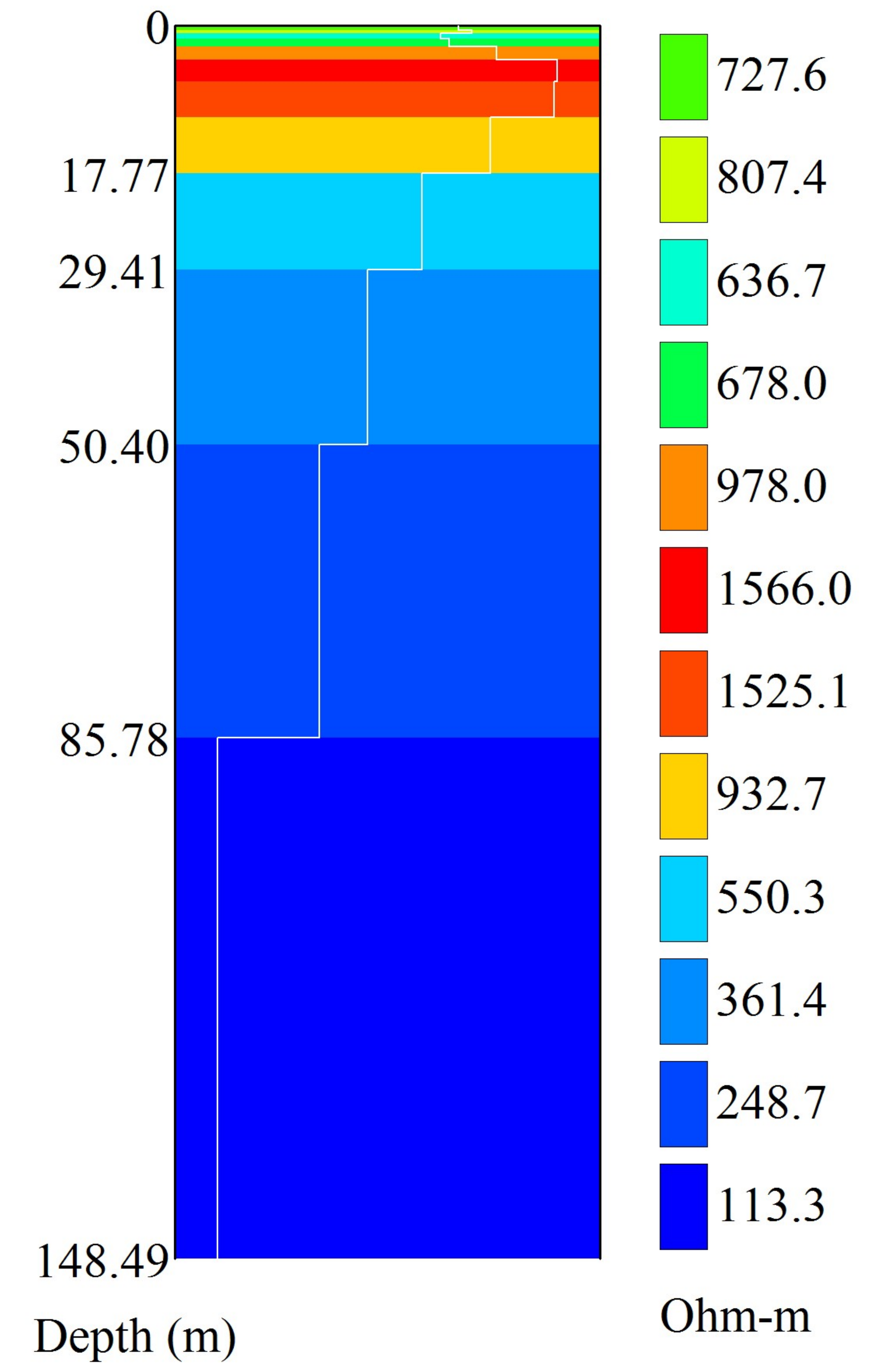
### Layered Resistivity Model



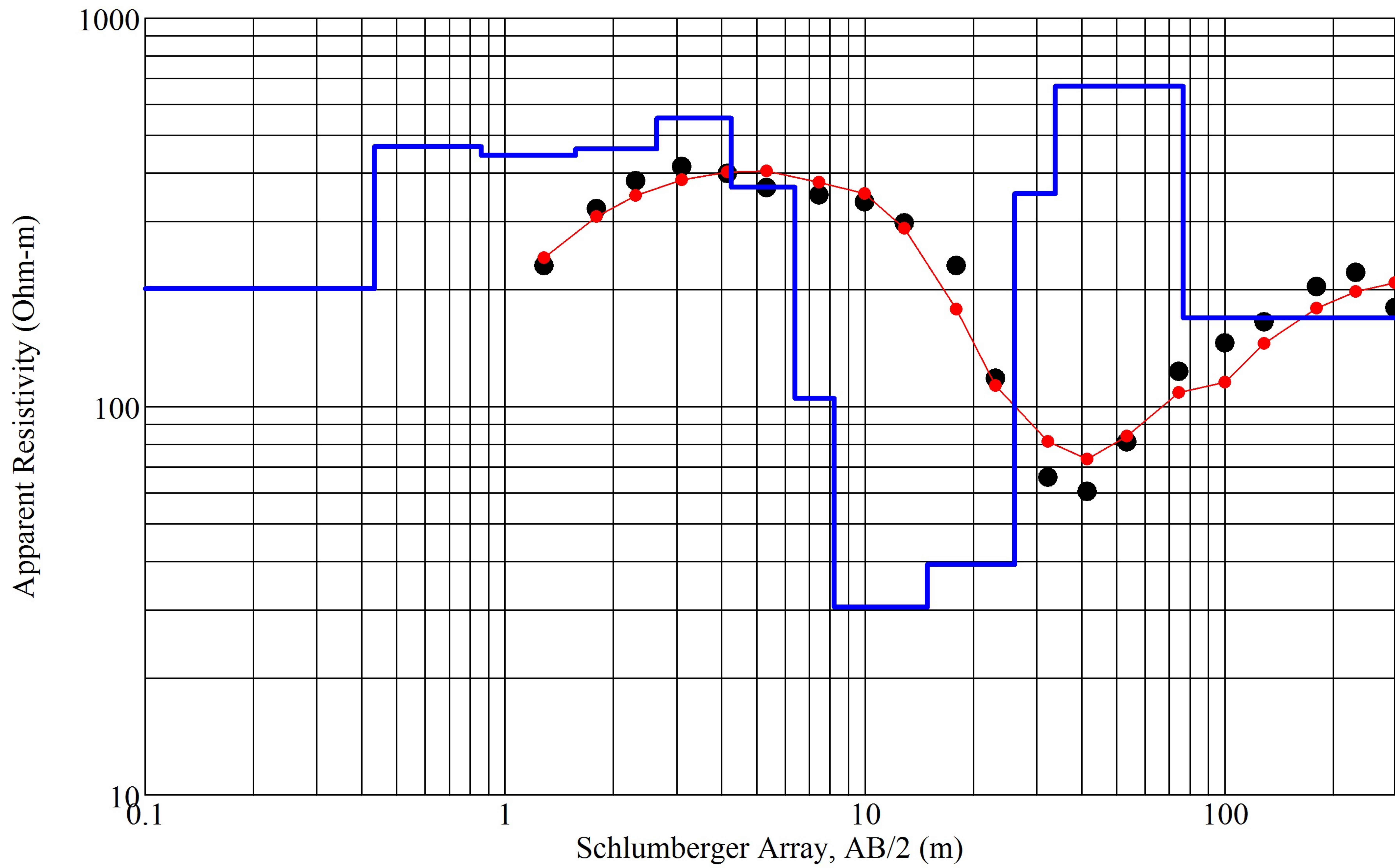
# SEV 03 Mendes - Measured and Modeled Data



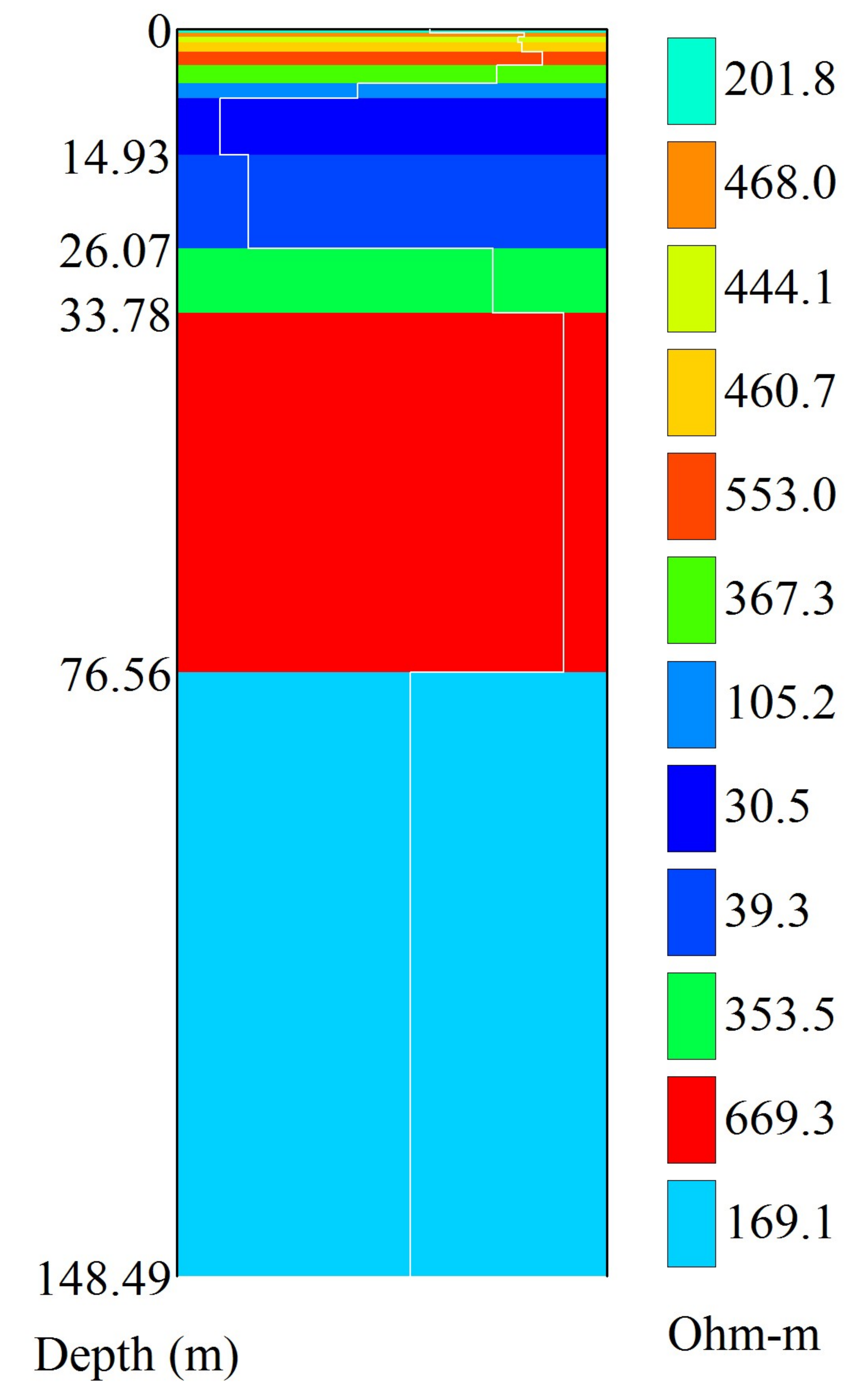
# Layered Resistivity Model



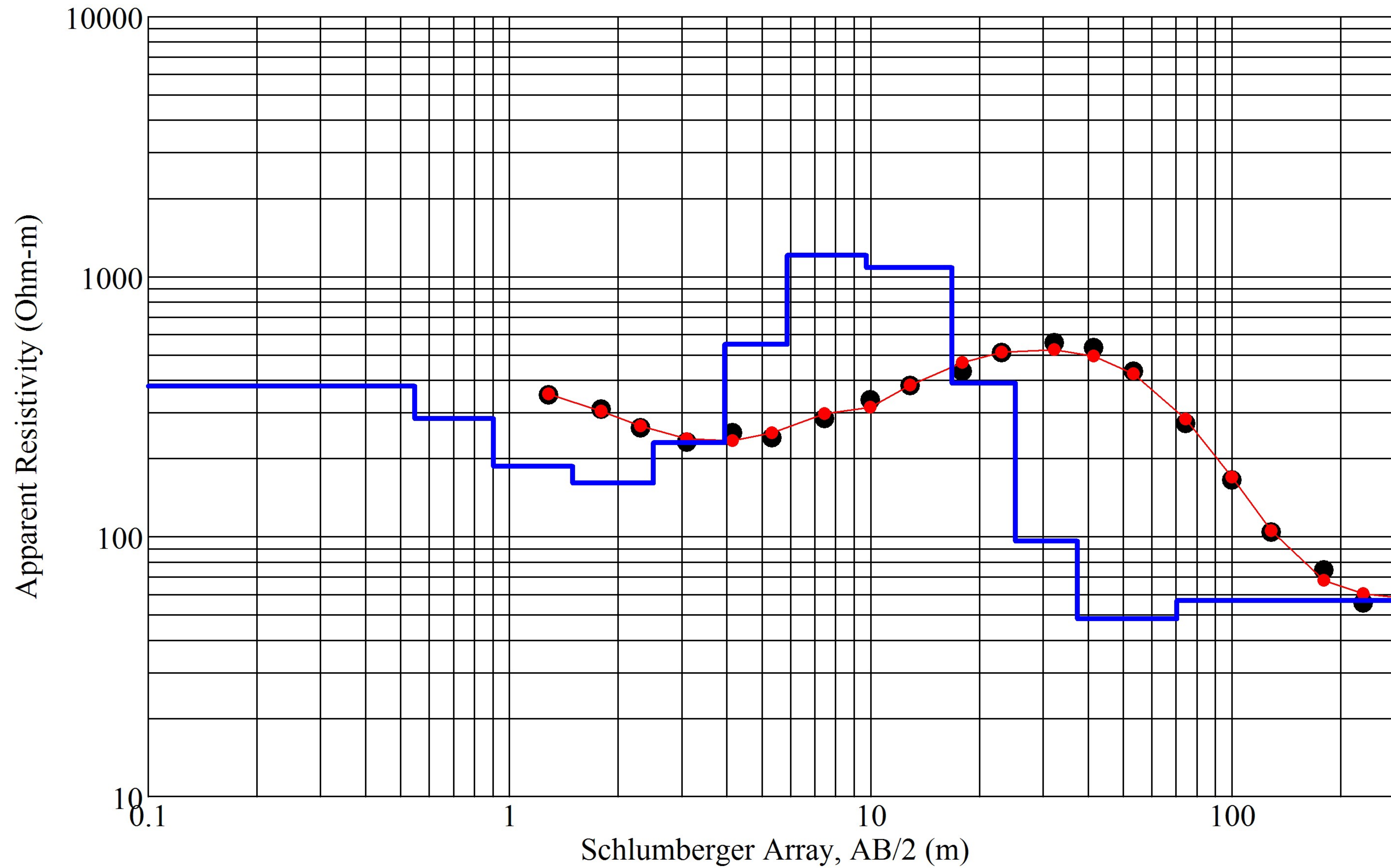
# SEV 04 Mendes - Measured and Modeled Data



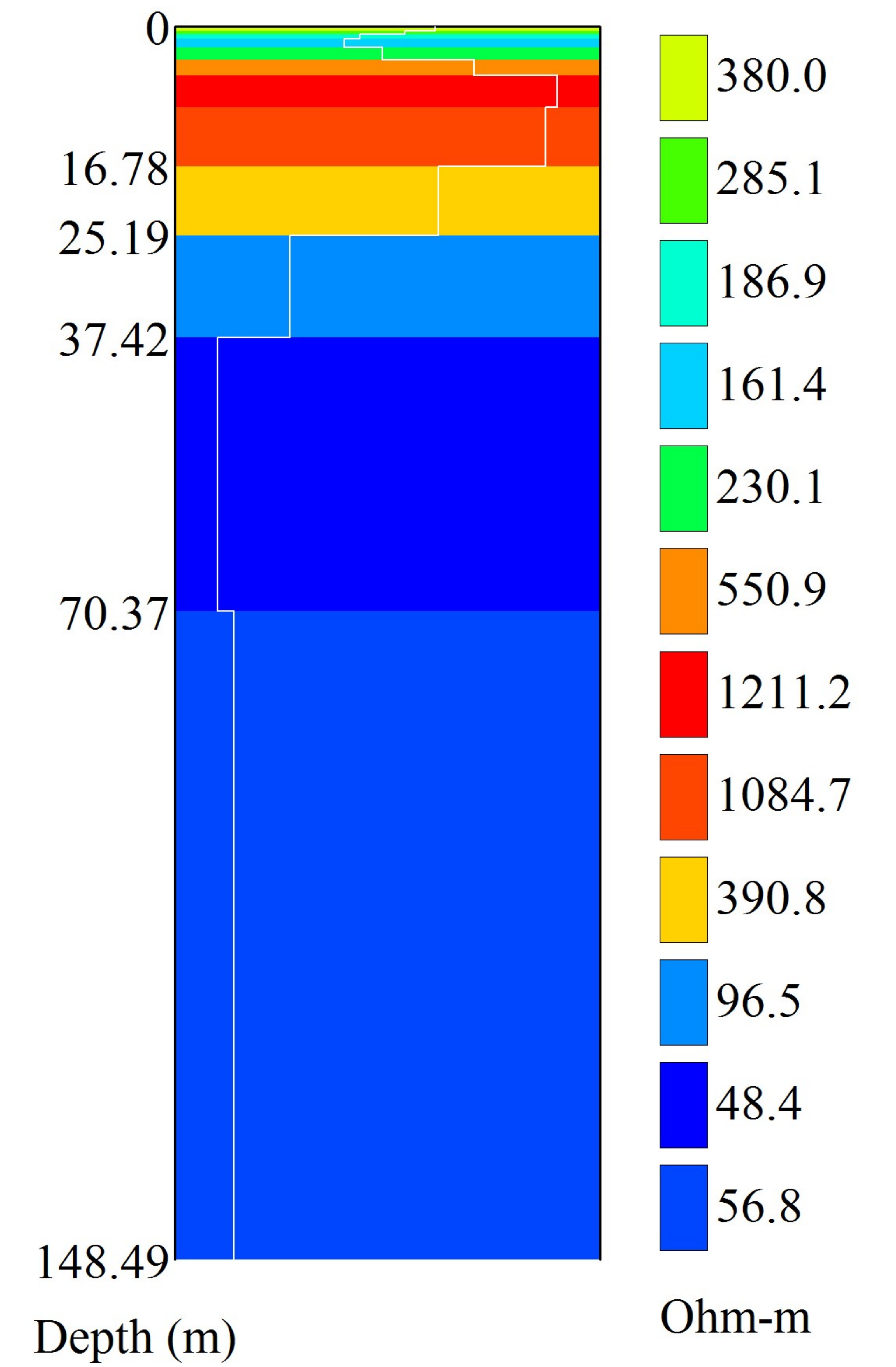
# Layered Resistivity Model



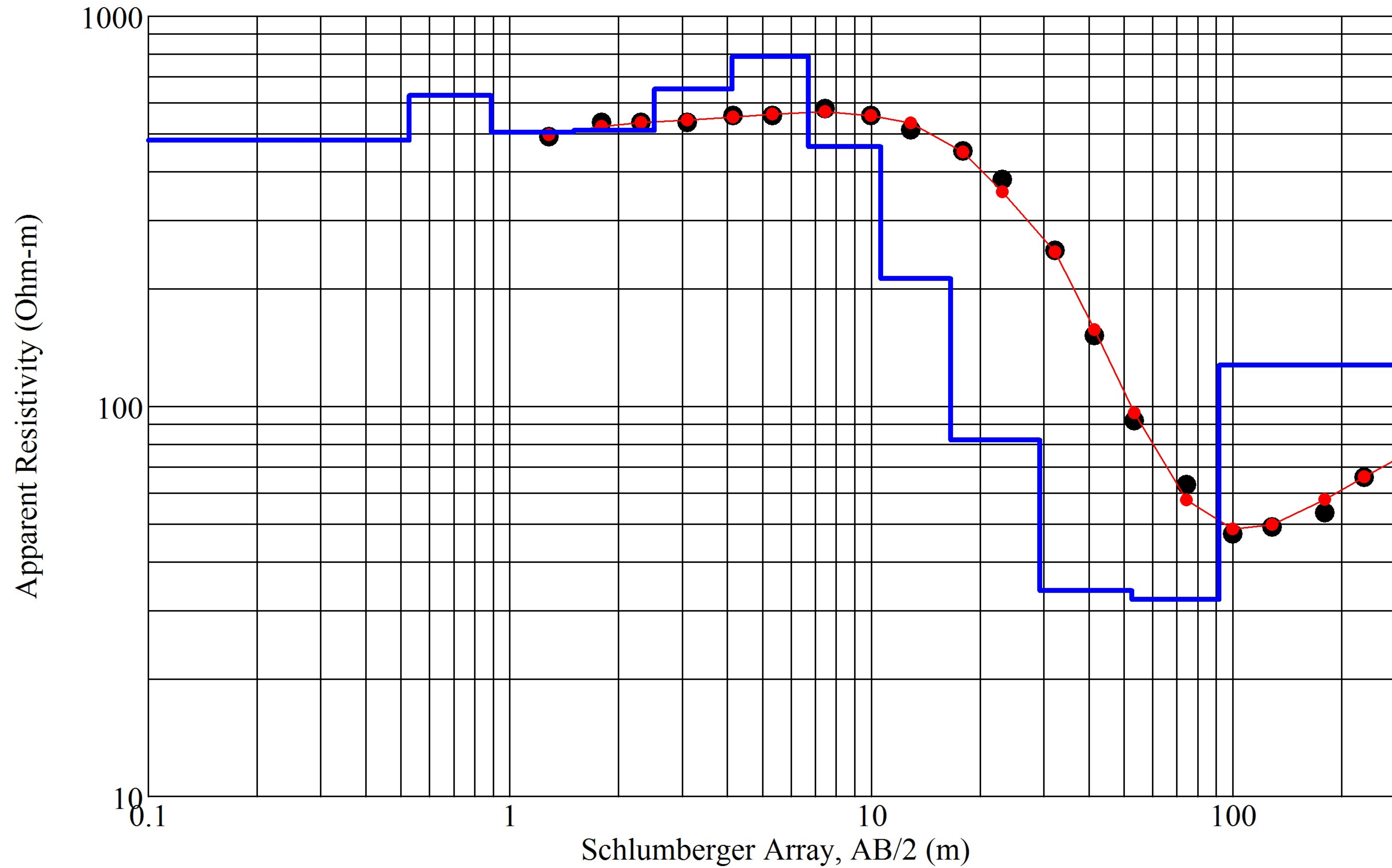
# SEV 05 Mendes - Measured and Modeled Data



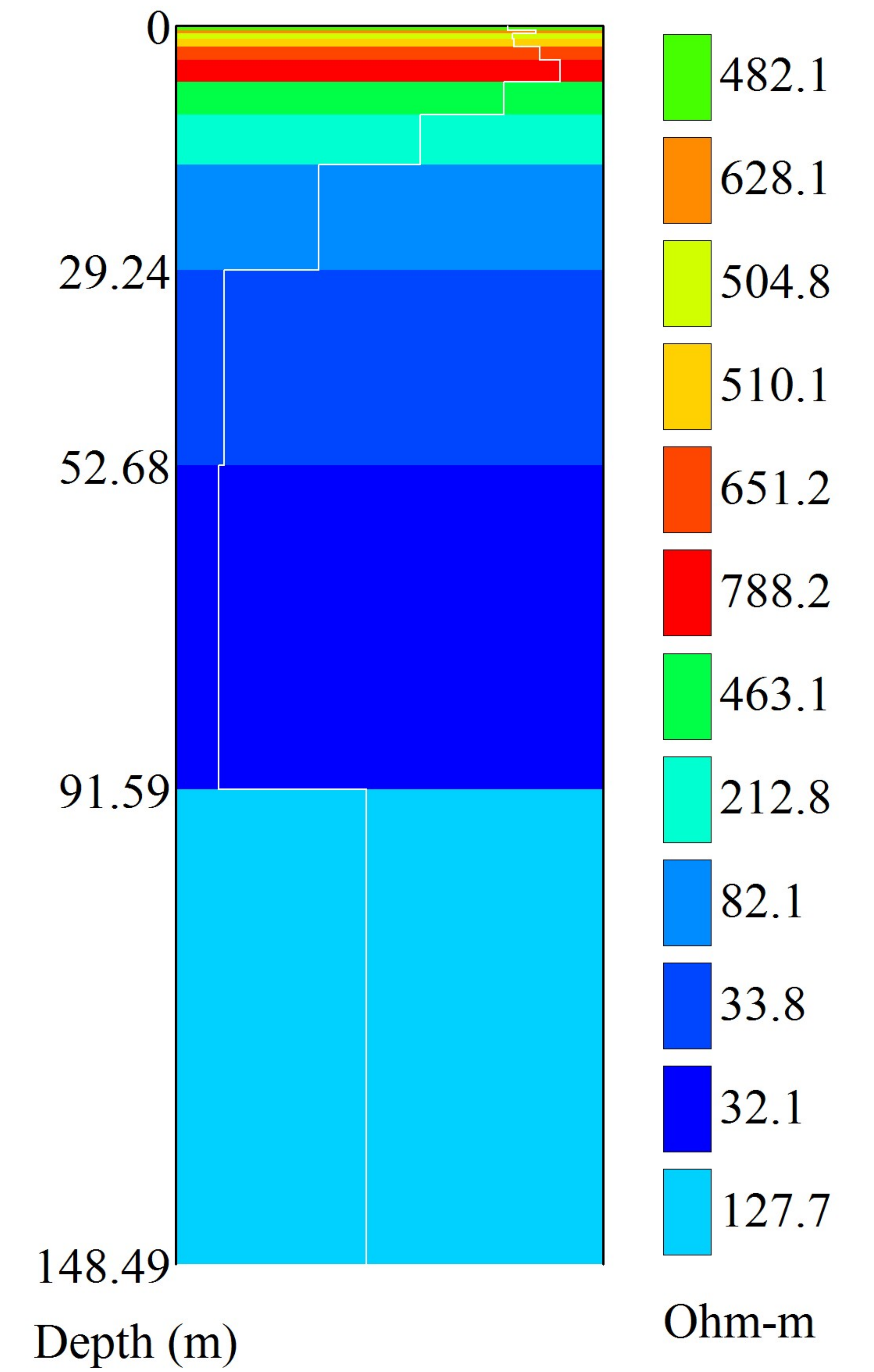
# Layered Resistivity Model



### SEV 06 Mendes - Measured and Modeled Data

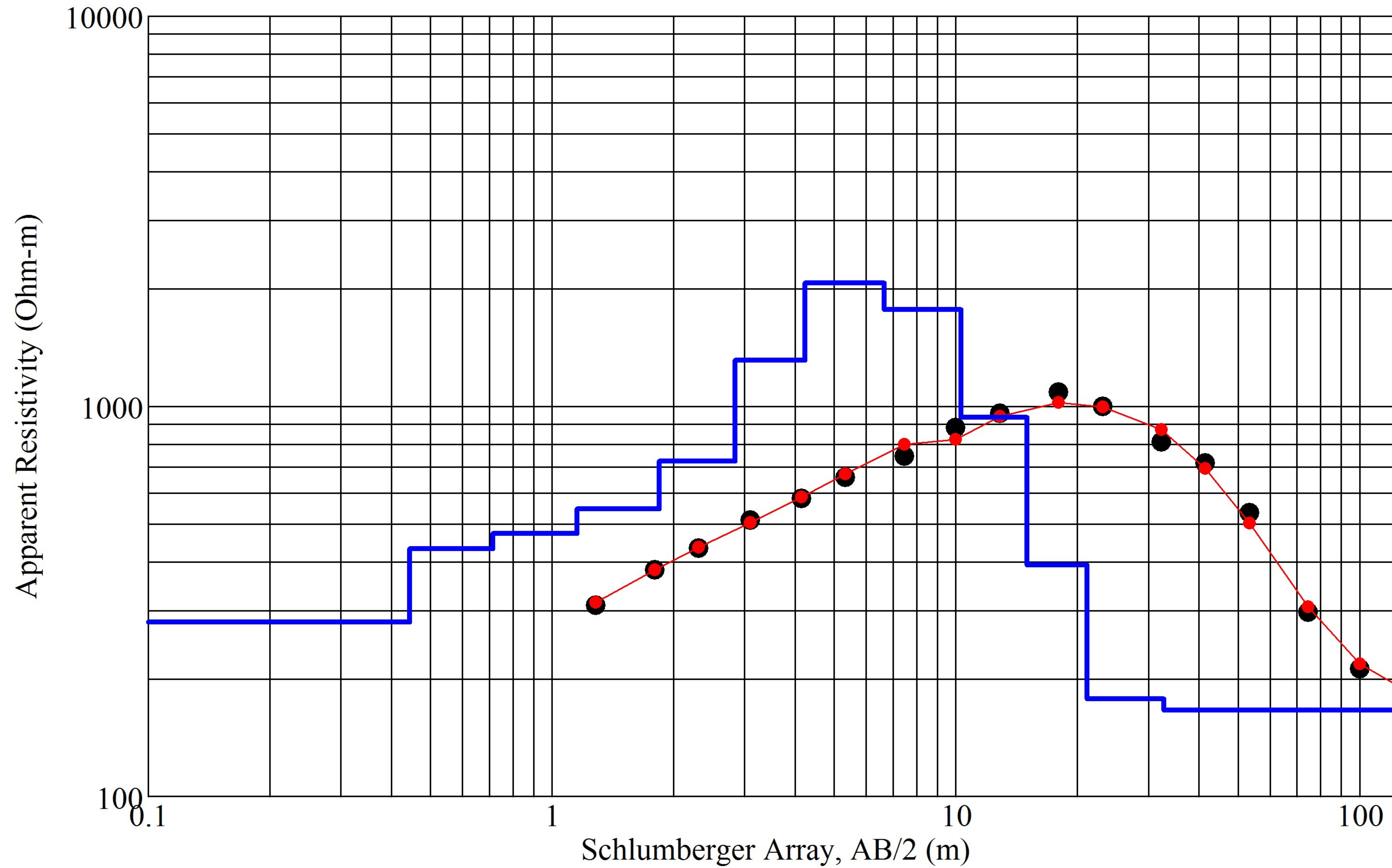


### Layered Resistivity Model

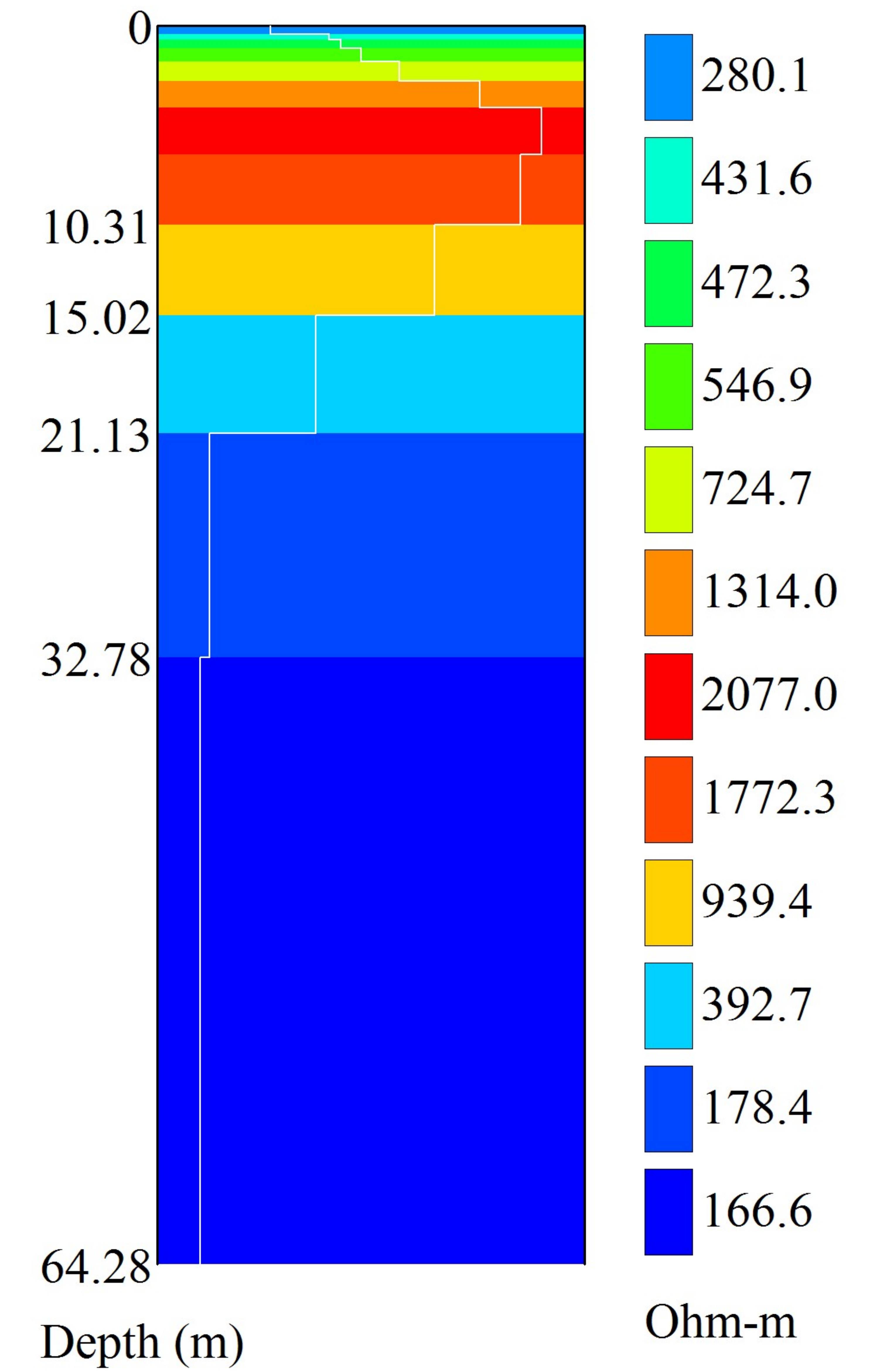




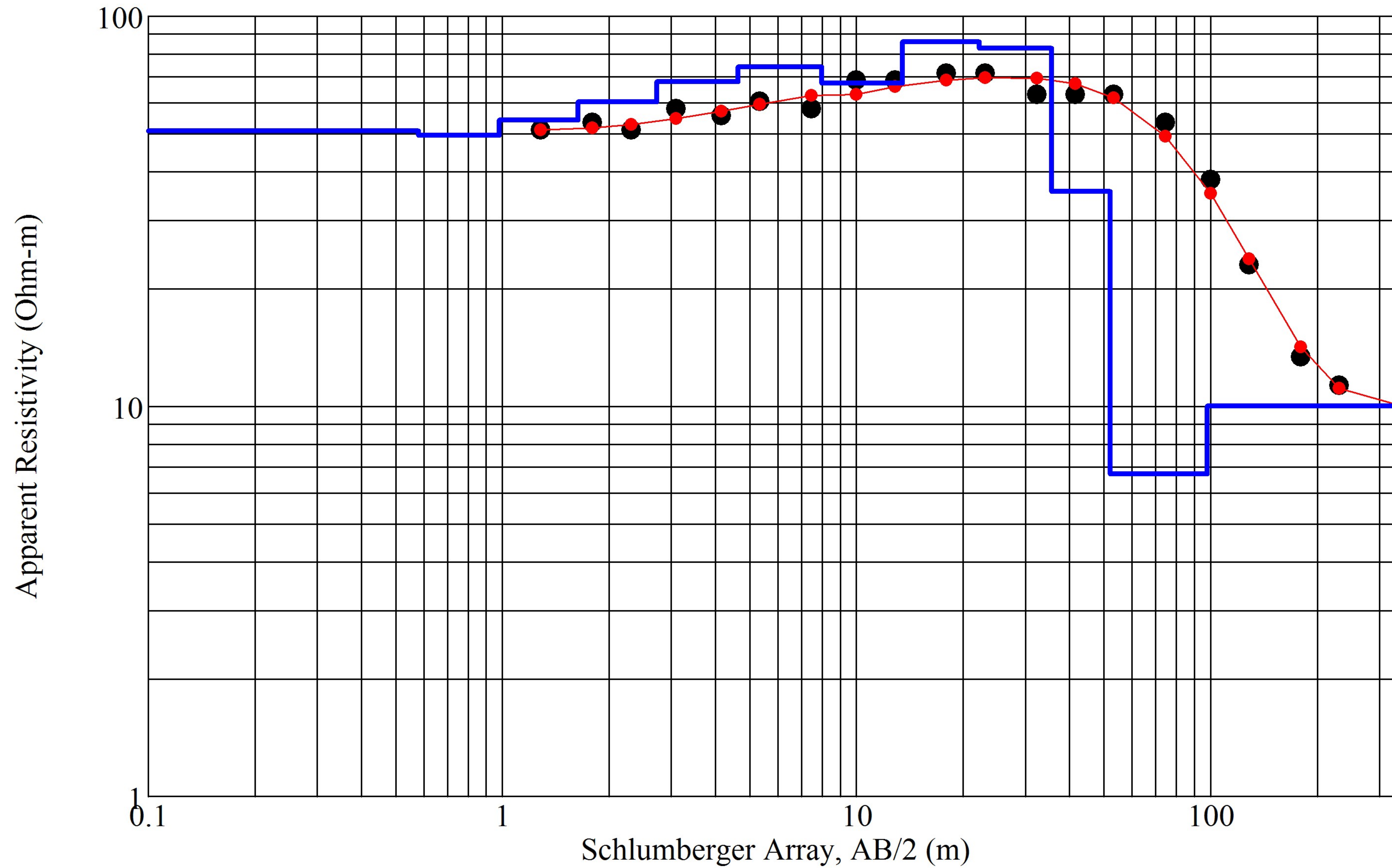
# SEV 07 Mendes - Measured and Modeled Data



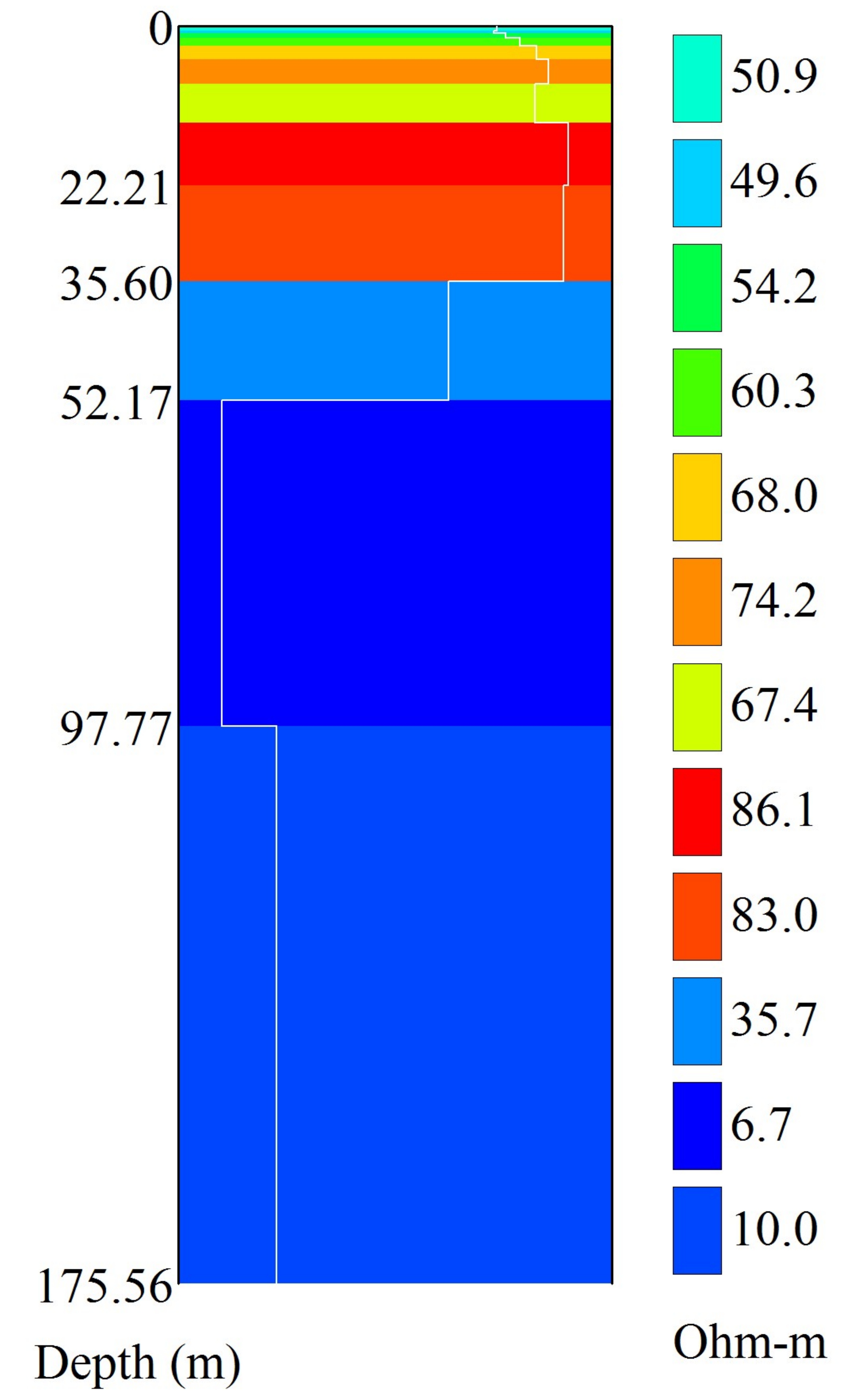
# Layered Resistivity Model



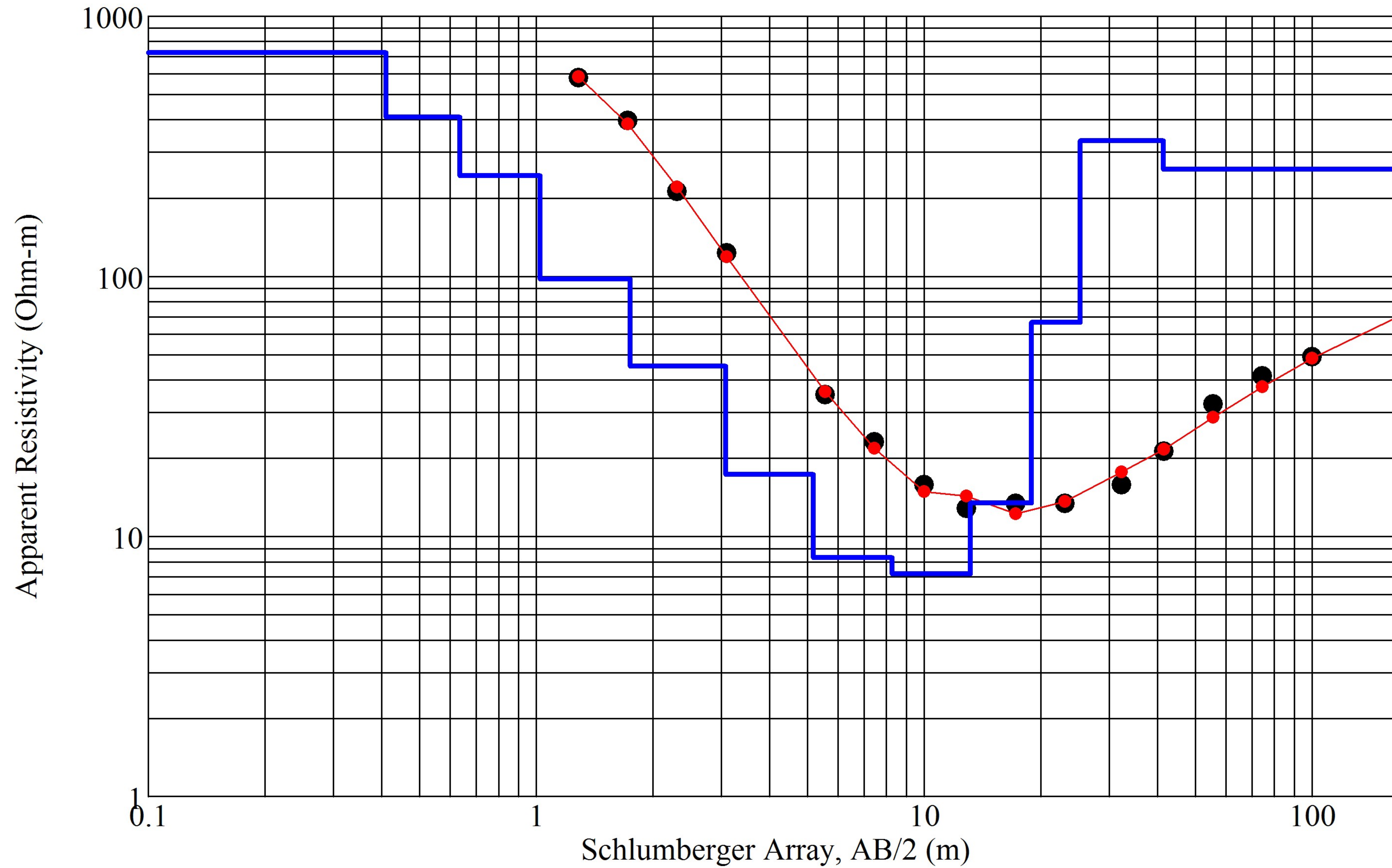
### SEV 08 Mendes - Measured and Modeled Data



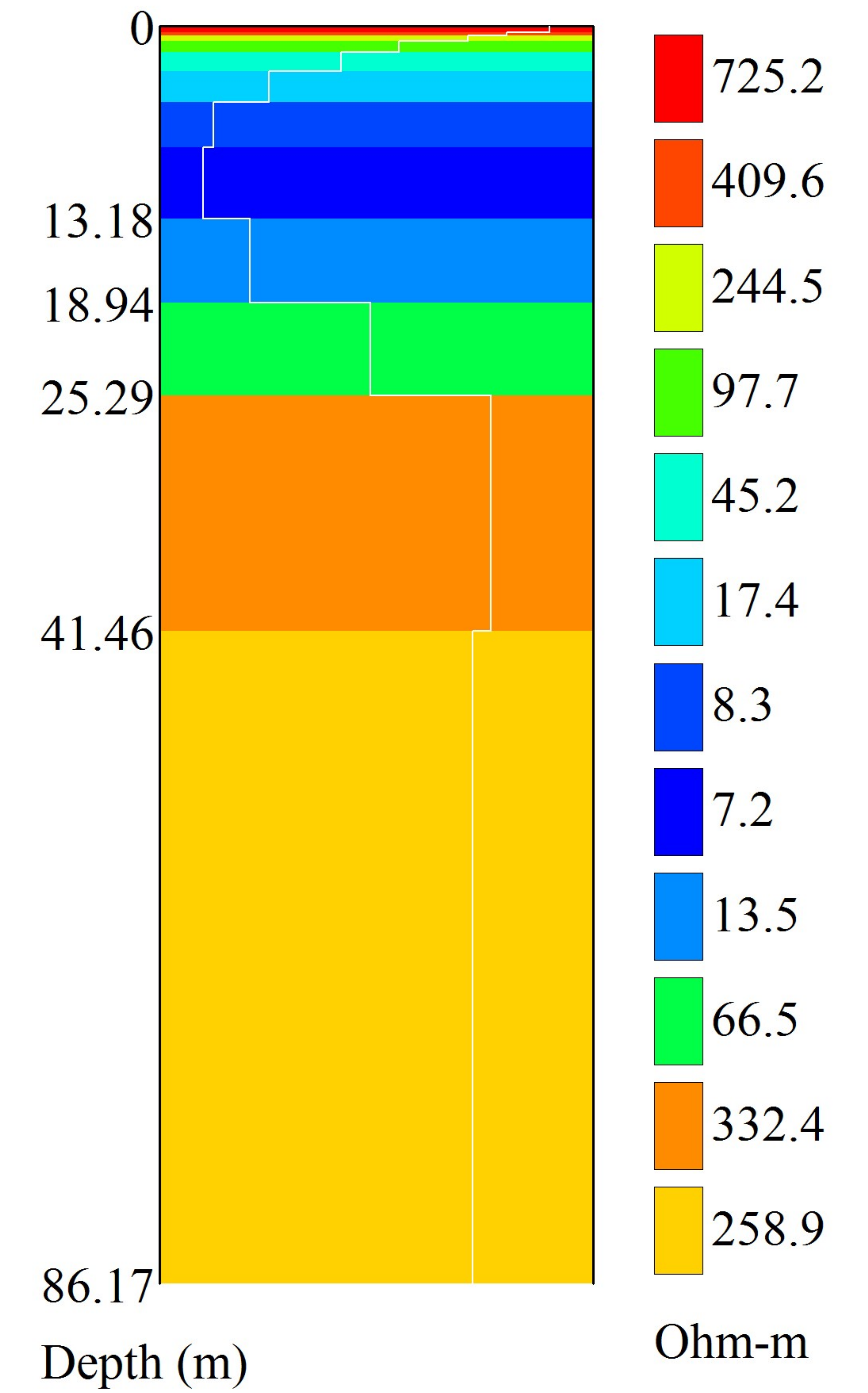
### Layered Resistivity Model



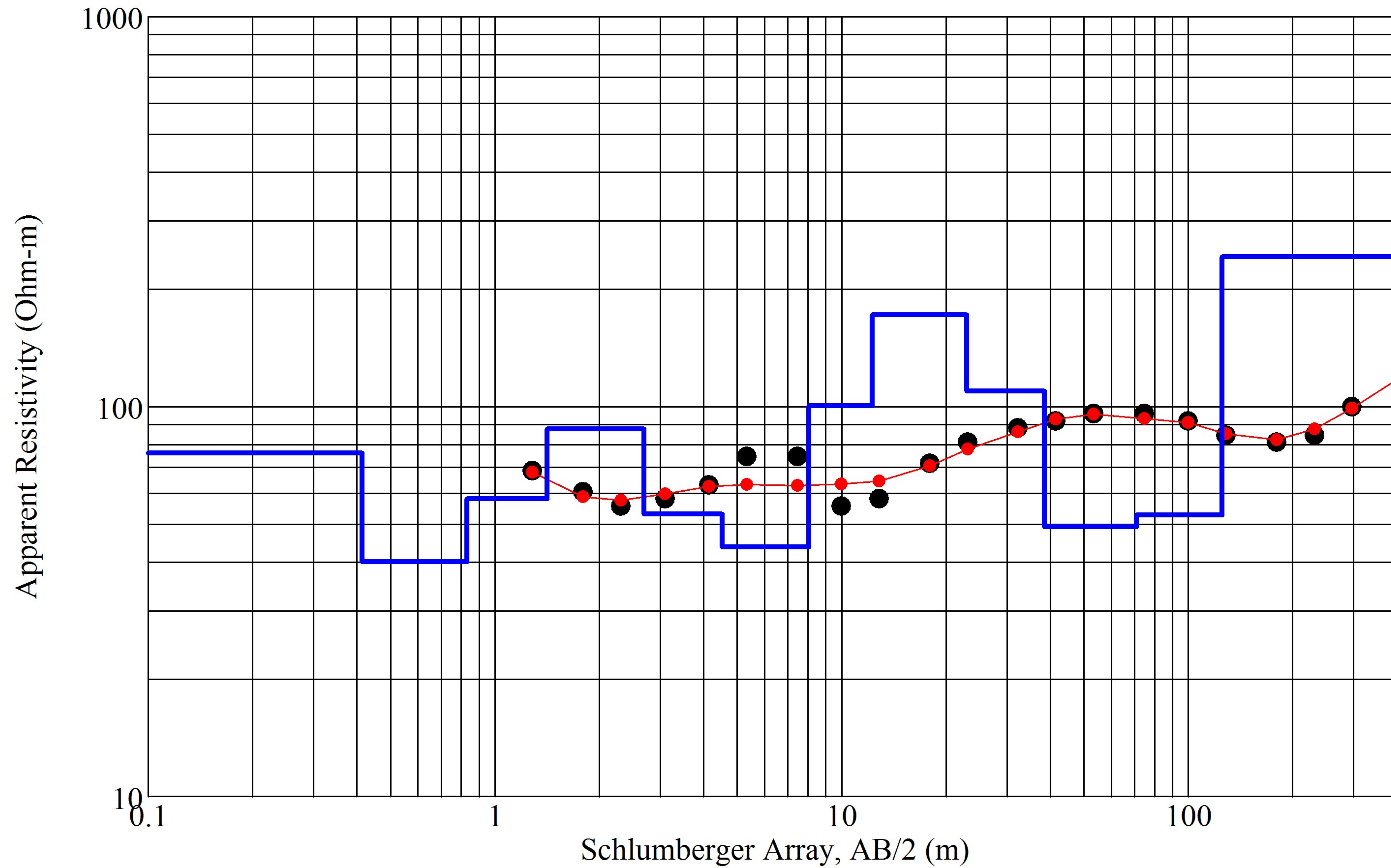
# SEV 09 Mendes - Measured and Modeled Data



# Layered Resistivity Model

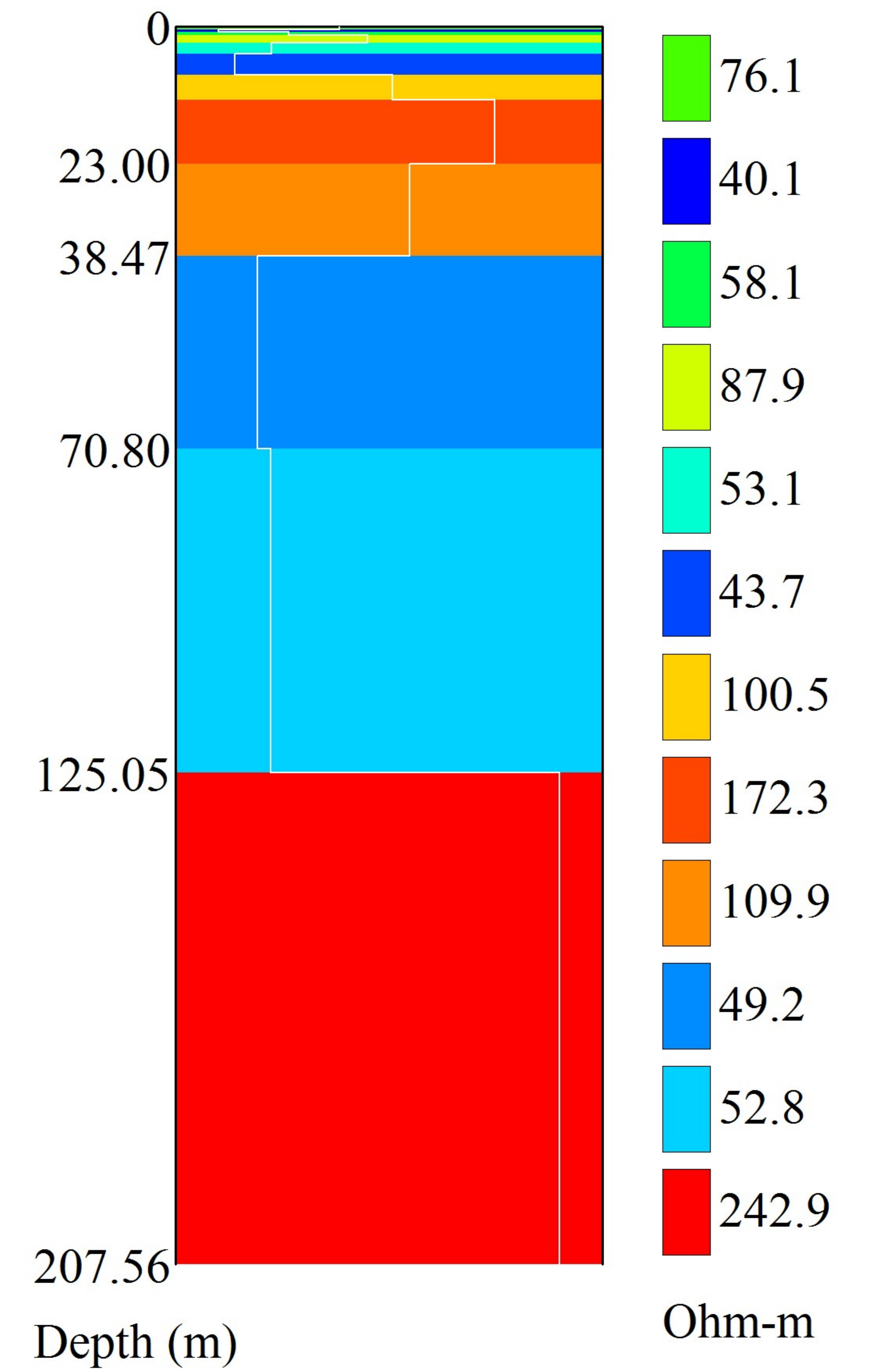


# SEV 10 Mendes - Measured and Modeled Data

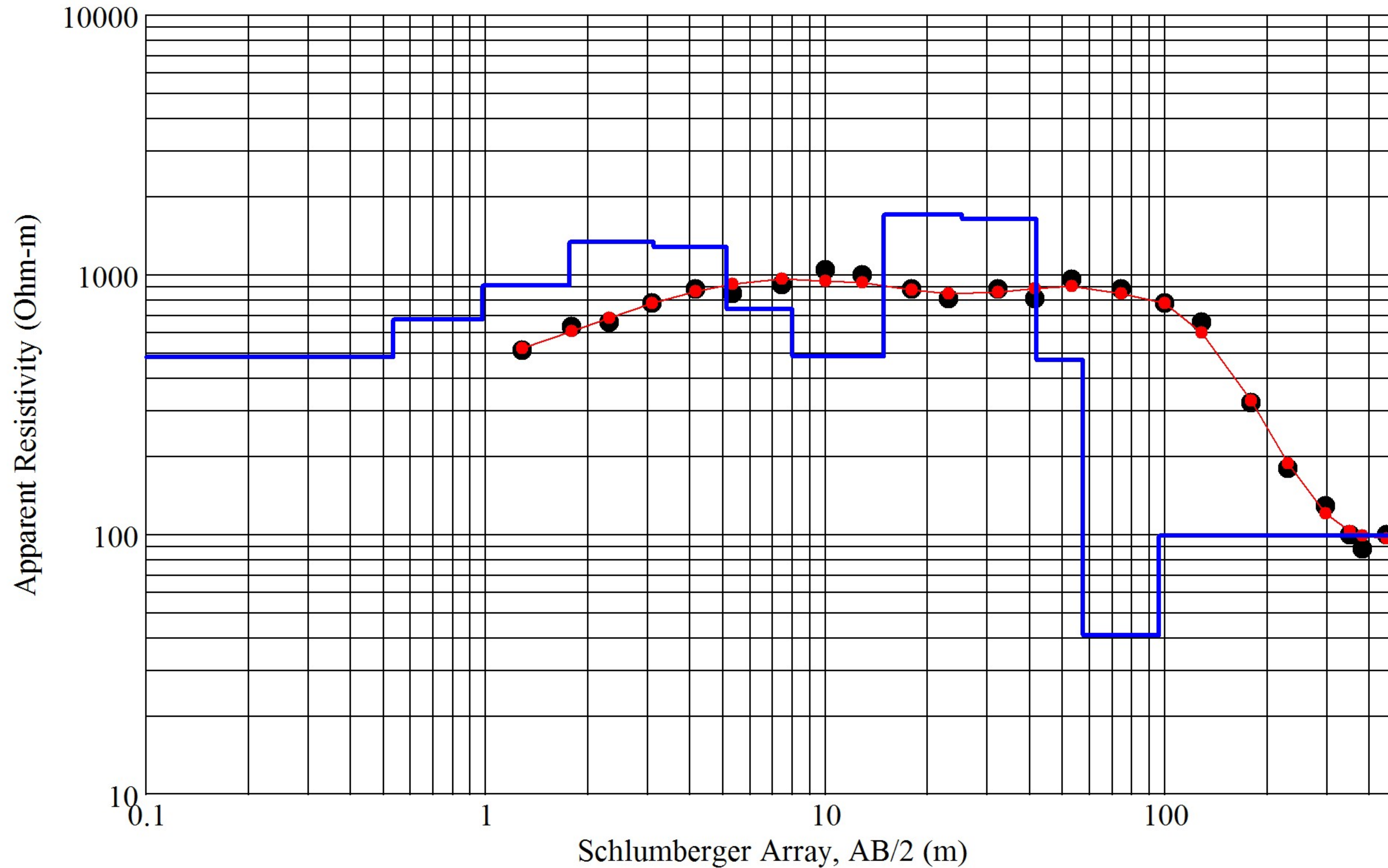


Iteration = 8 RMS = 6.63%

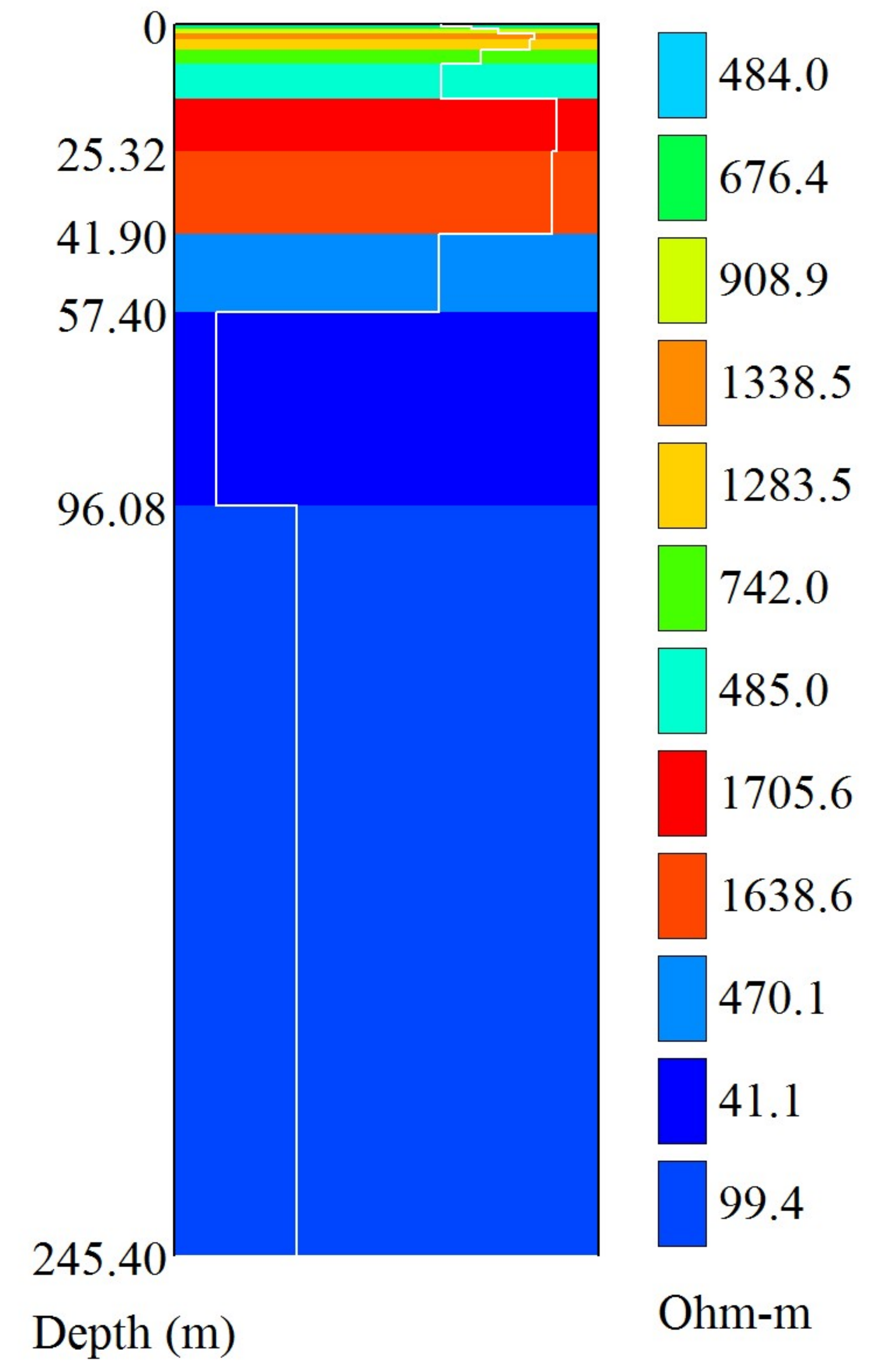
# Layered Resistivity Model



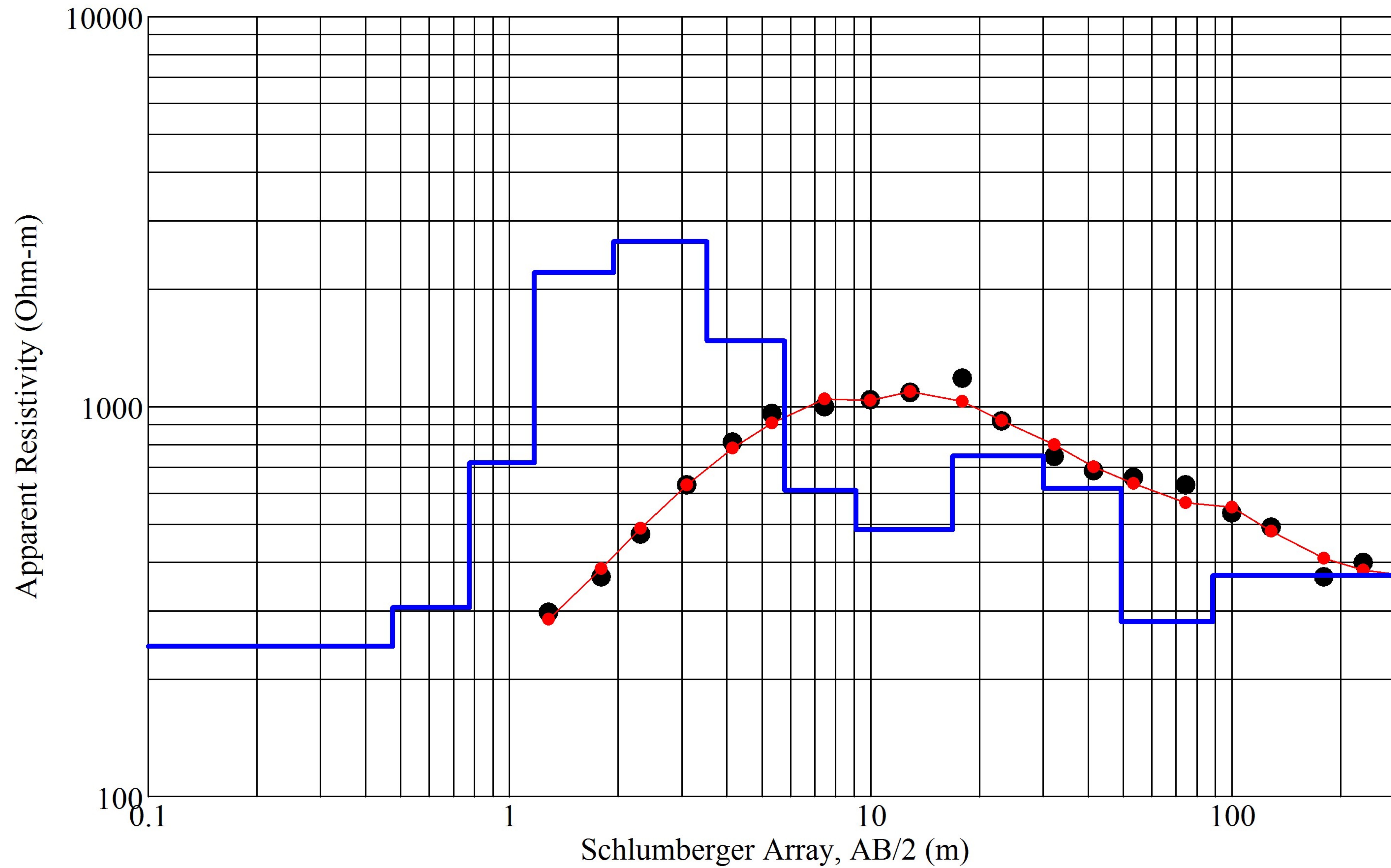
# SEV 11 Mendes - Measured and Modeled Data



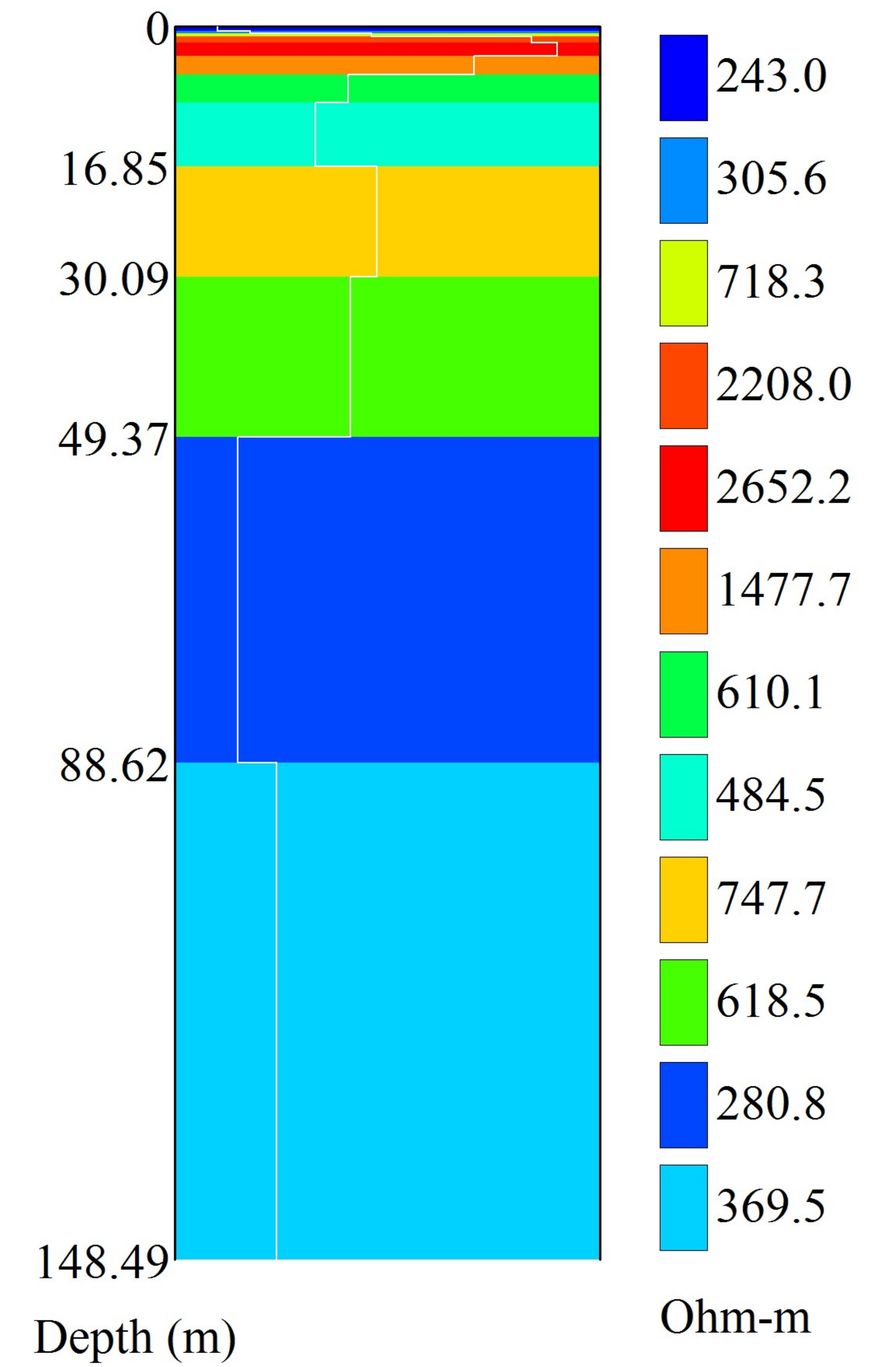
# Layered Resistivity Model



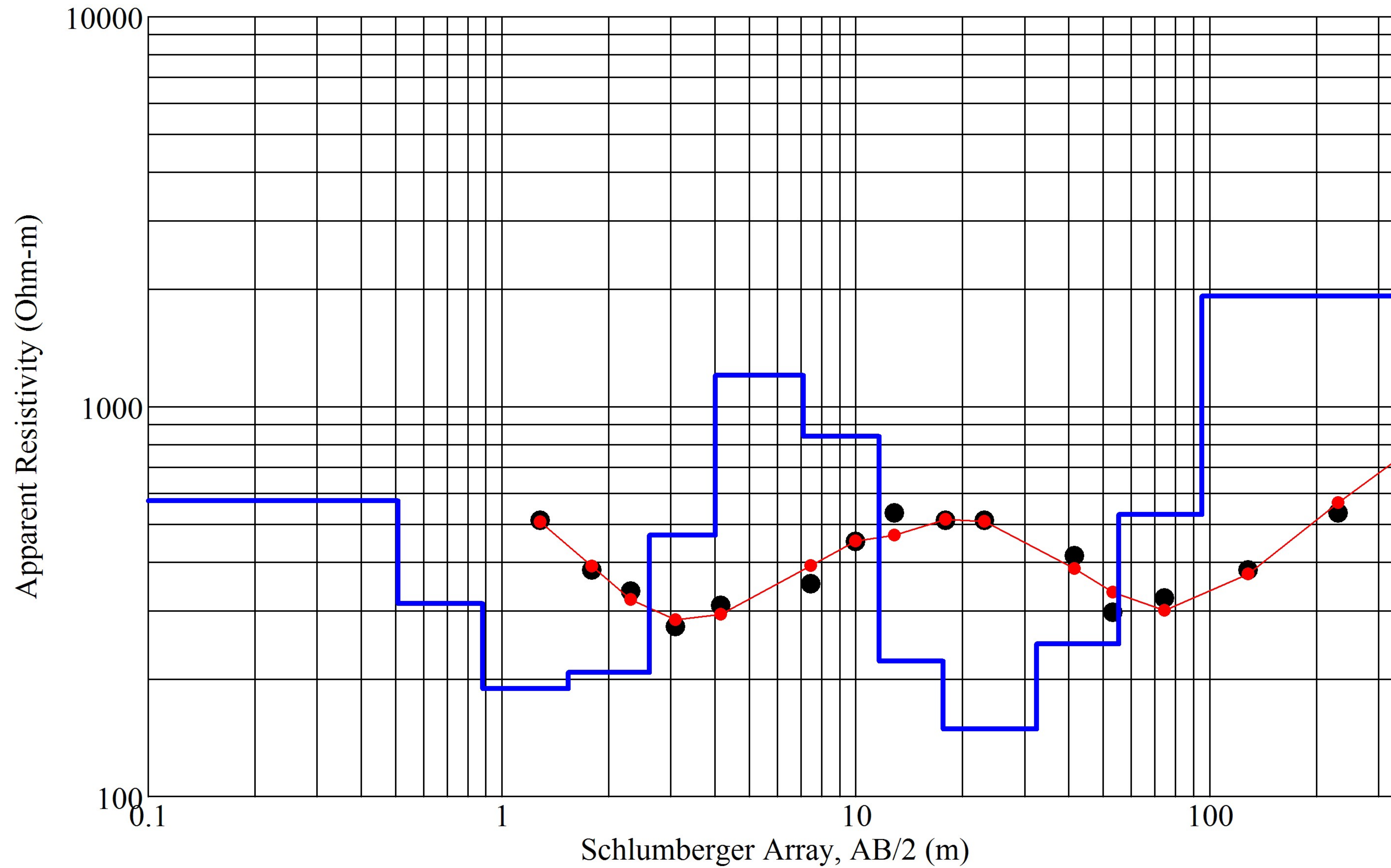
# SEV 12 Mendes - Measured and Modeled Data



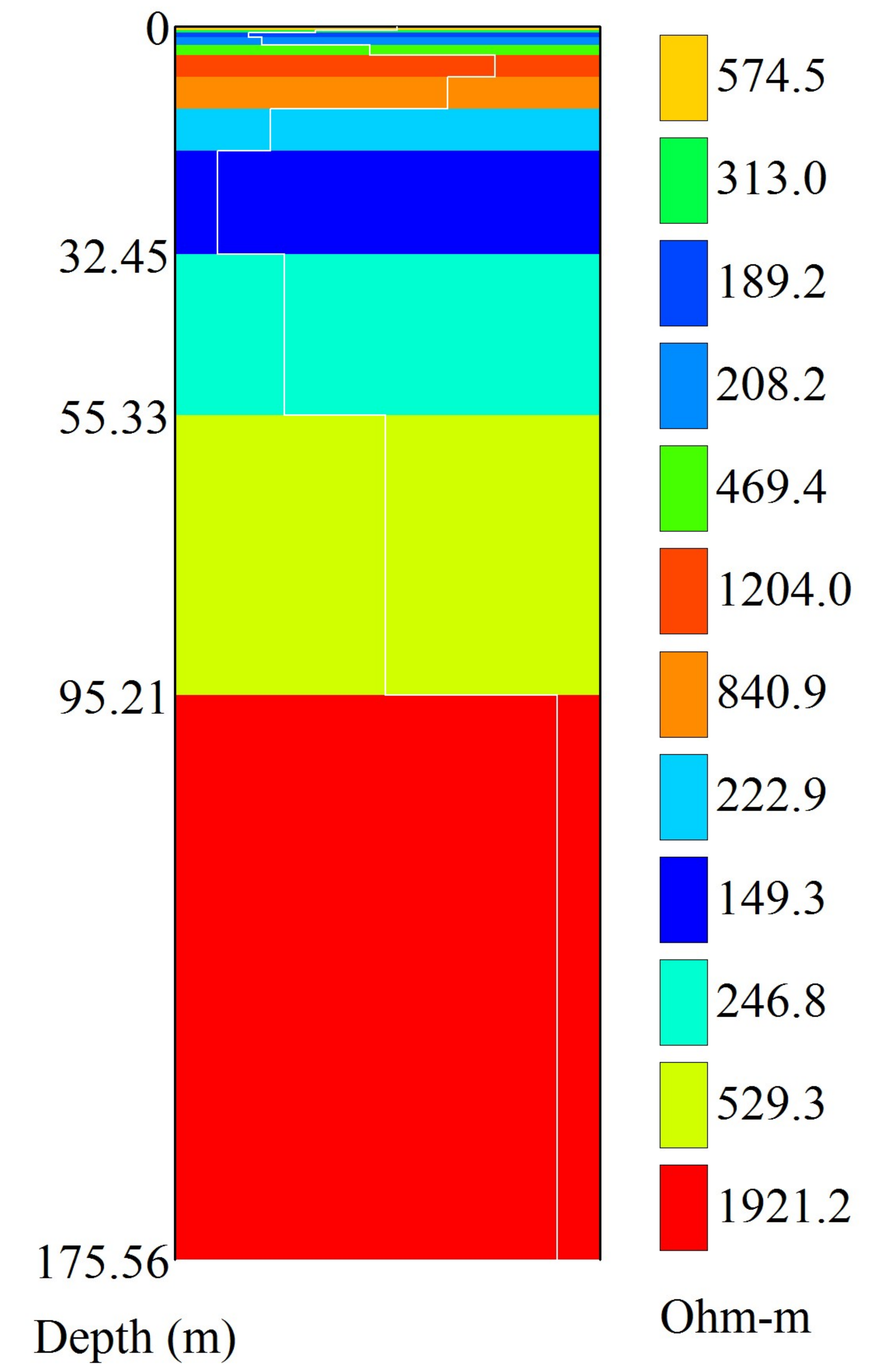
# Layered Resistivity Model



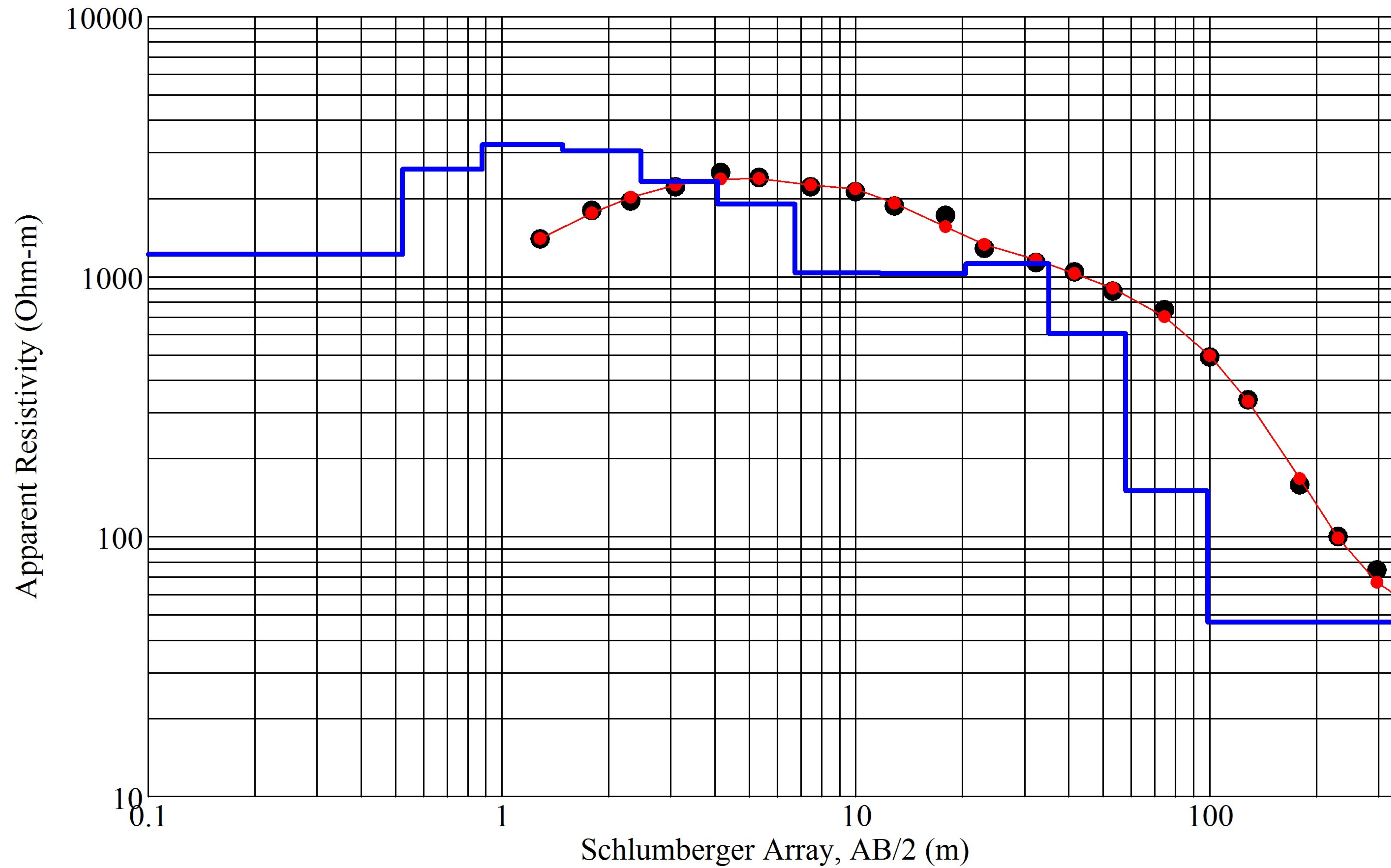
# SEV 13 Mendes - Measured and Modeled Data



# Layered Resistivity Model

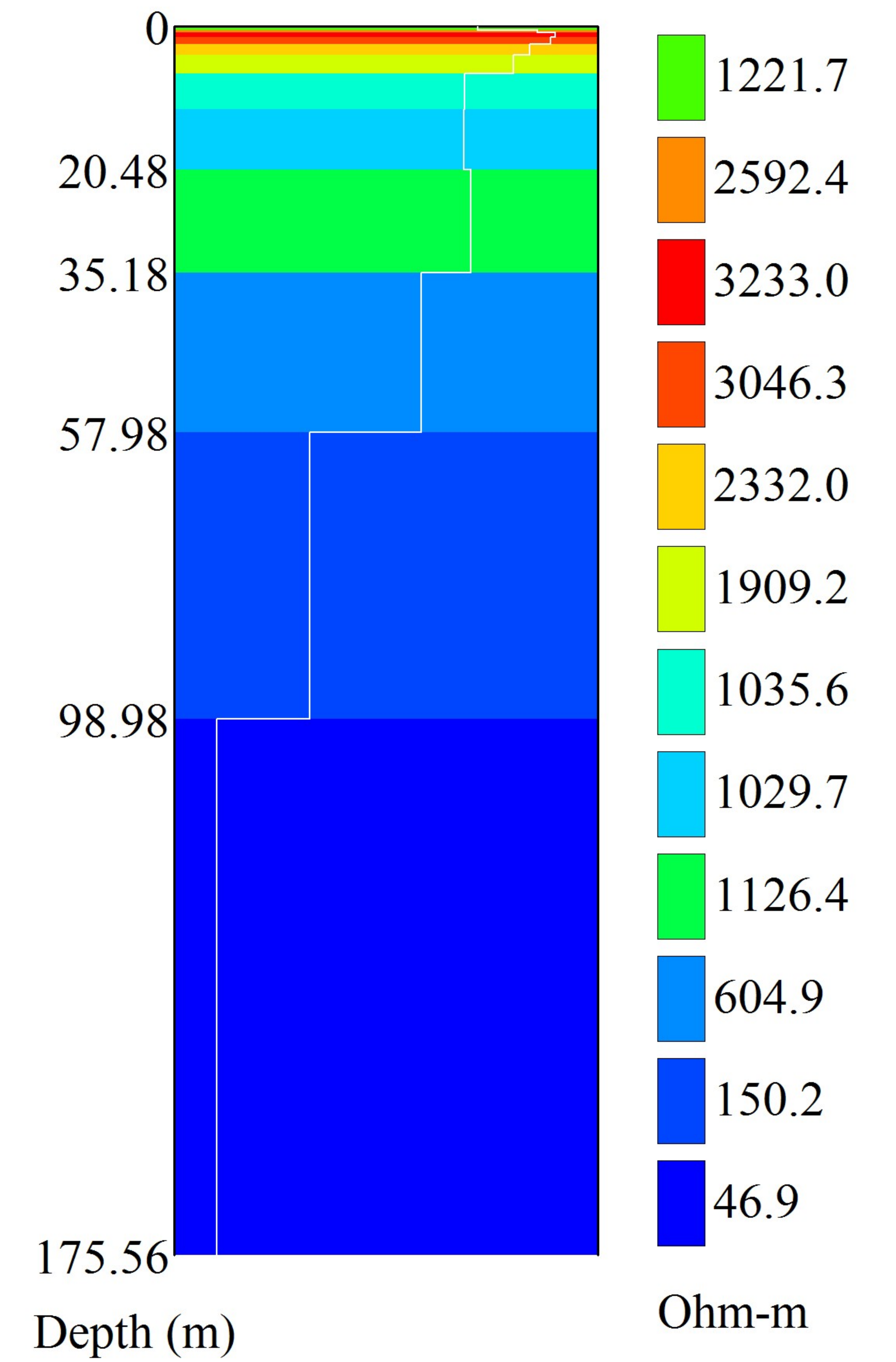


# SEV 14 Mendes - Measured and Modeled Data



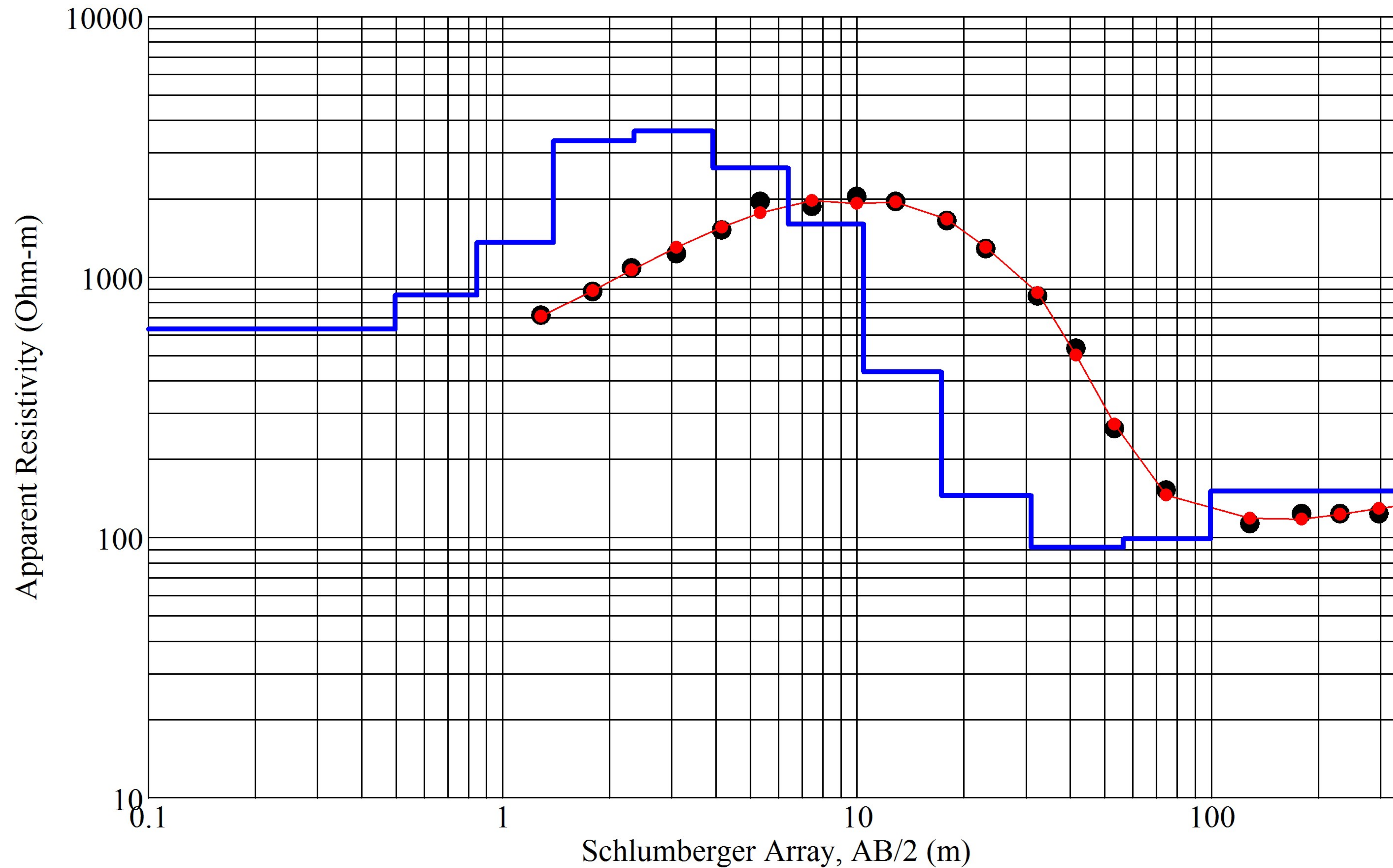
Iteration = 8 RMS = 4.51%

# Layered Resistivity Model

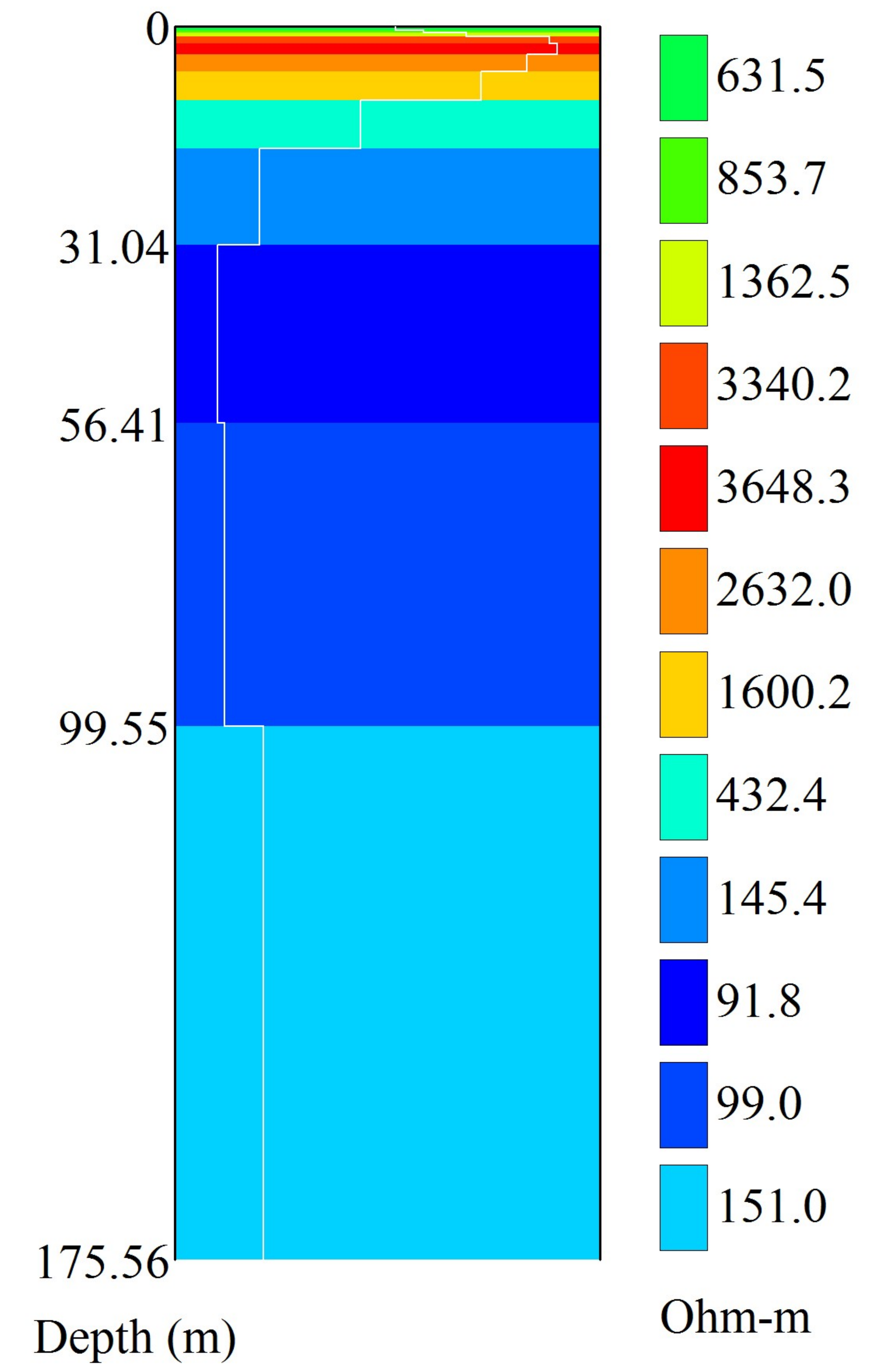




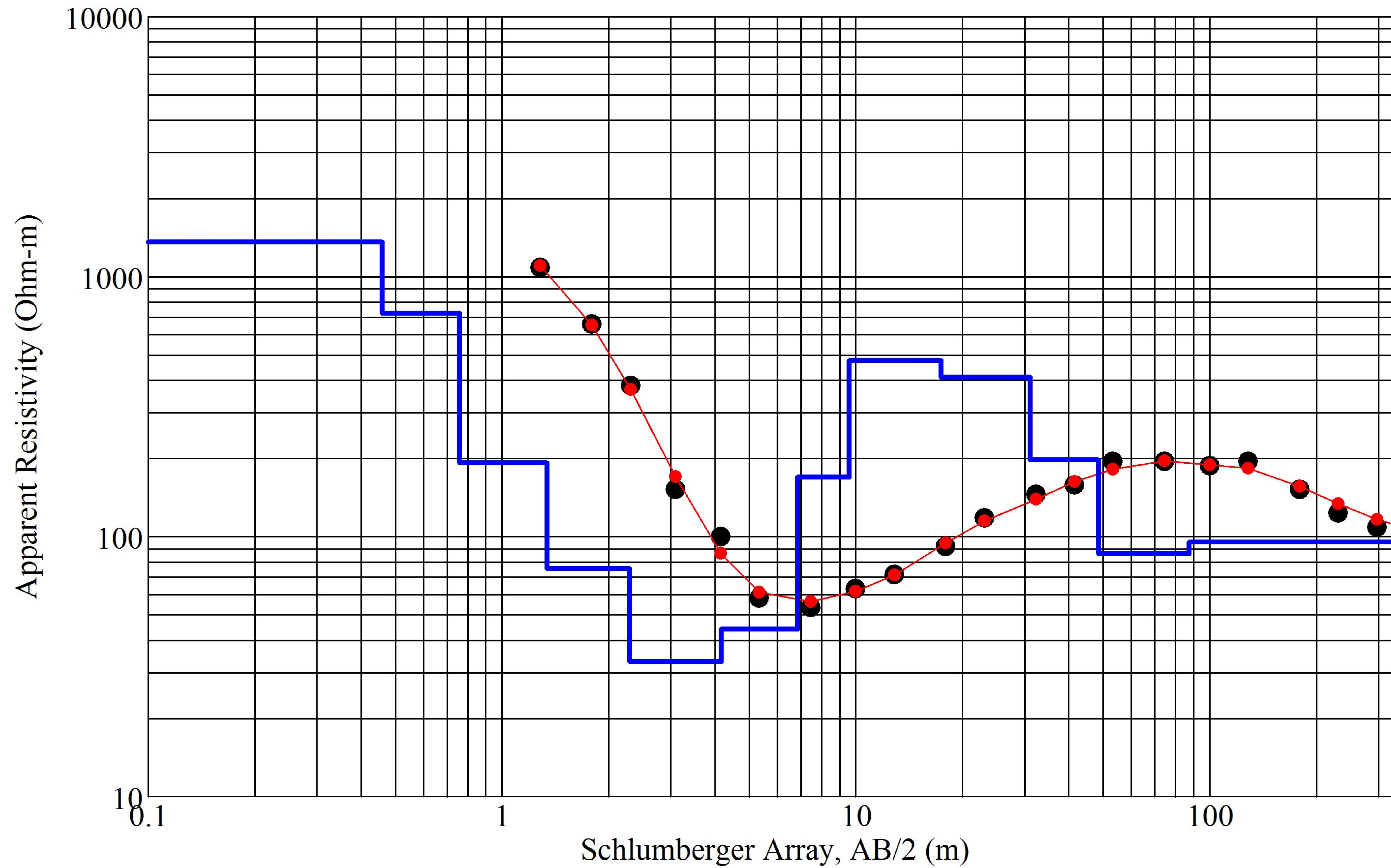
# SEV 15 Mendes - Measured and Modeled Data



# Layered Resistivity Model

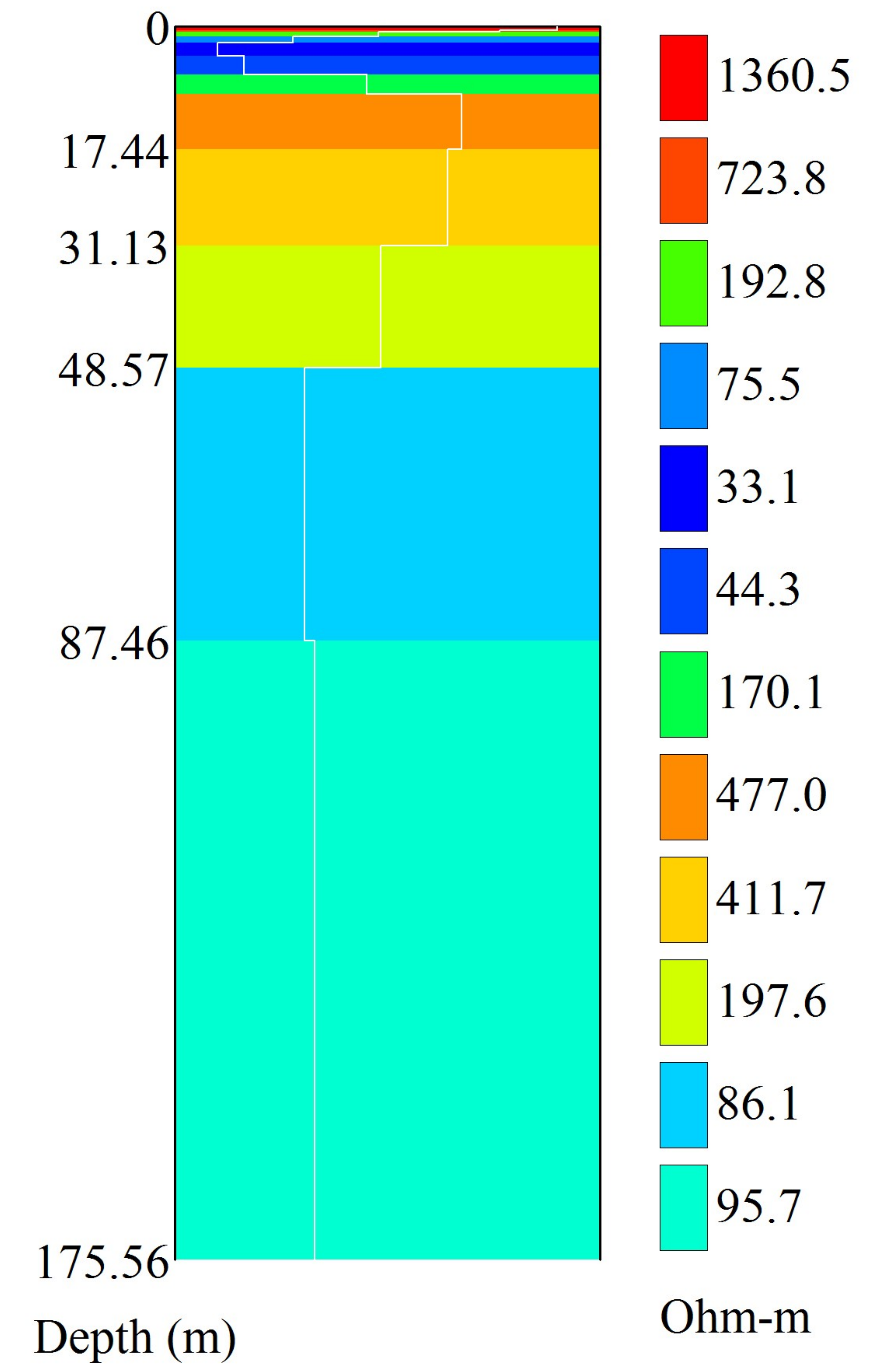


# SEV 16 Mendes - Measured and Modeled Data

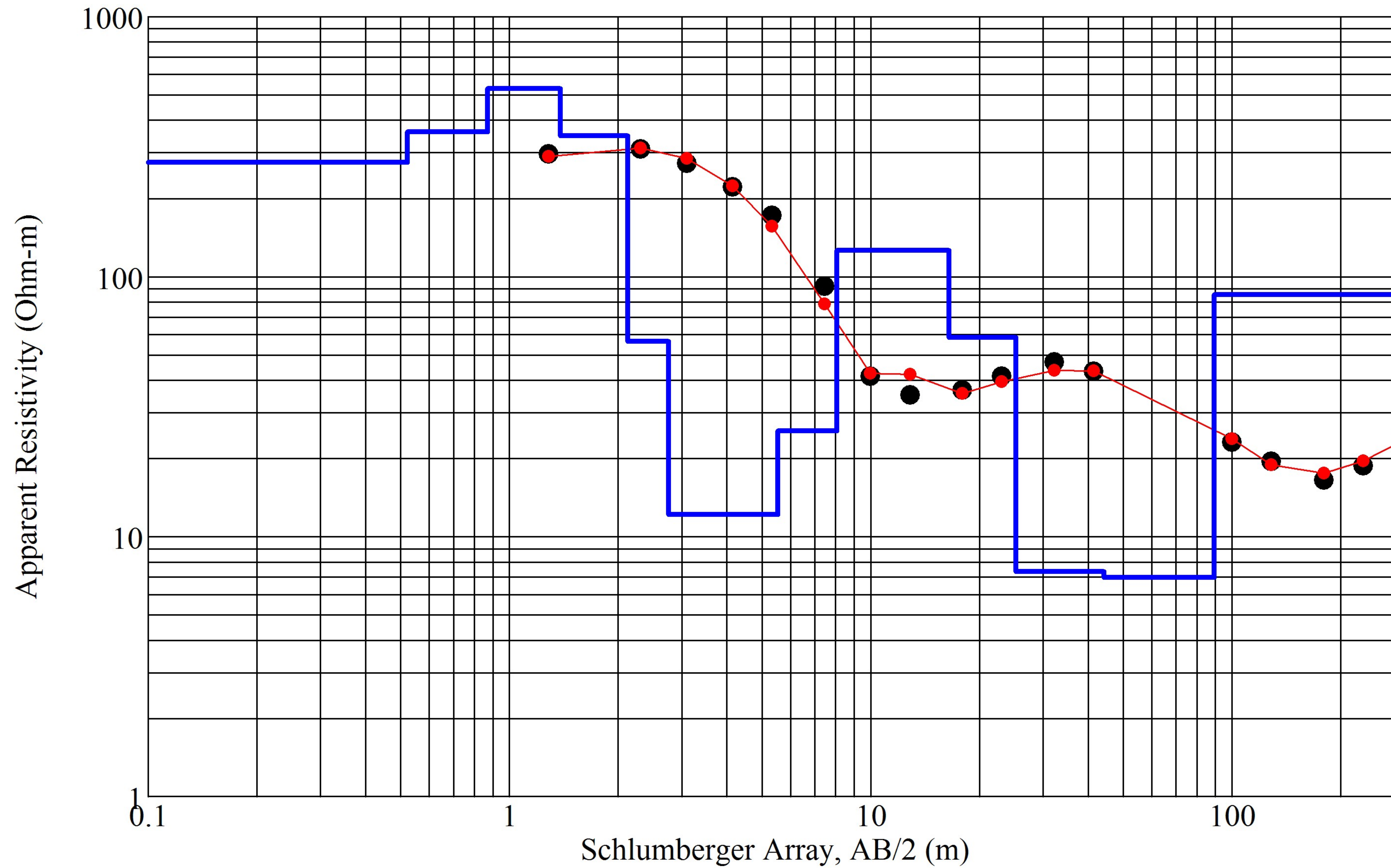


Iteration = 8 RMS = 6.22%

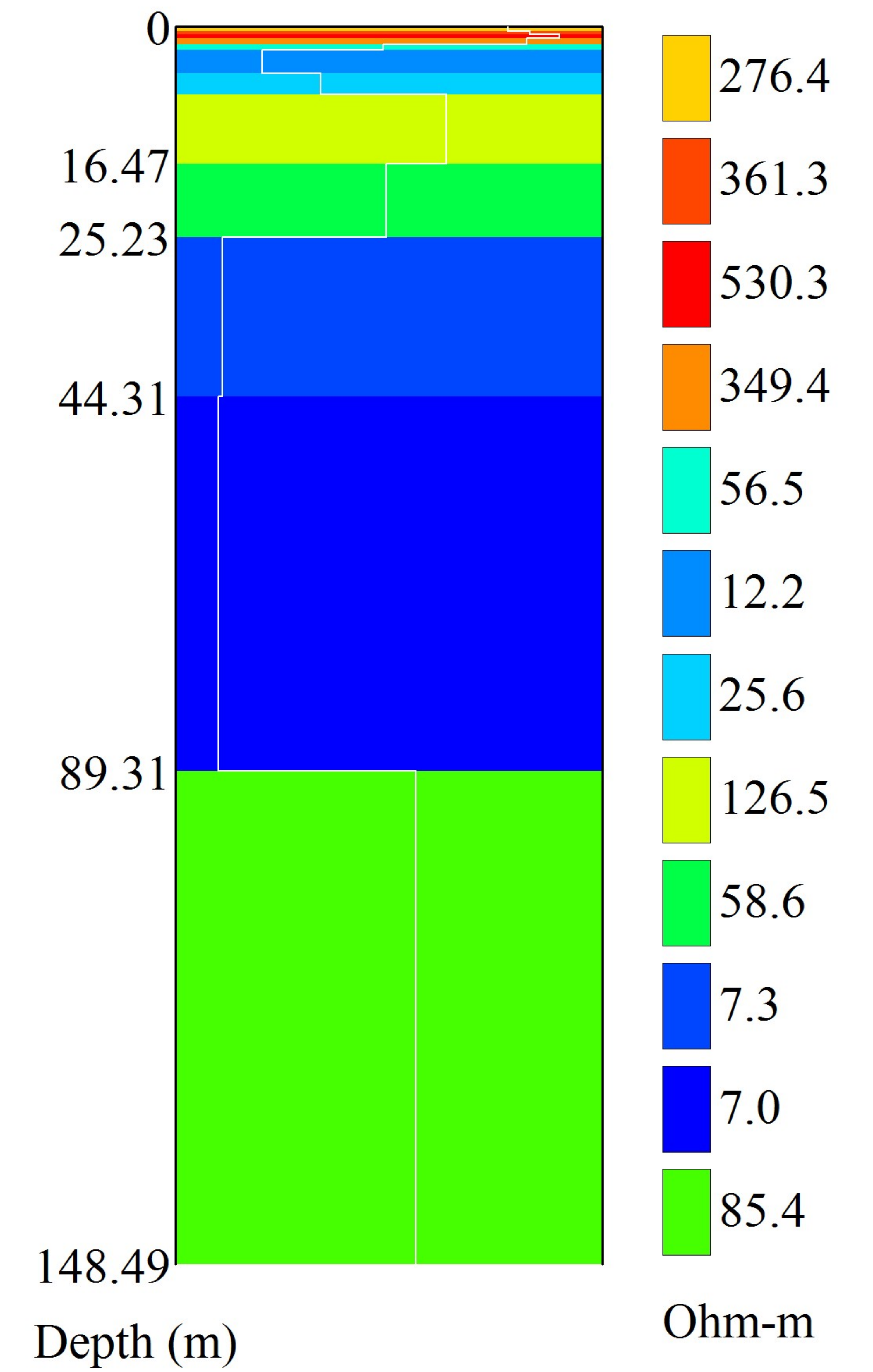
# Layered Resistivity Model



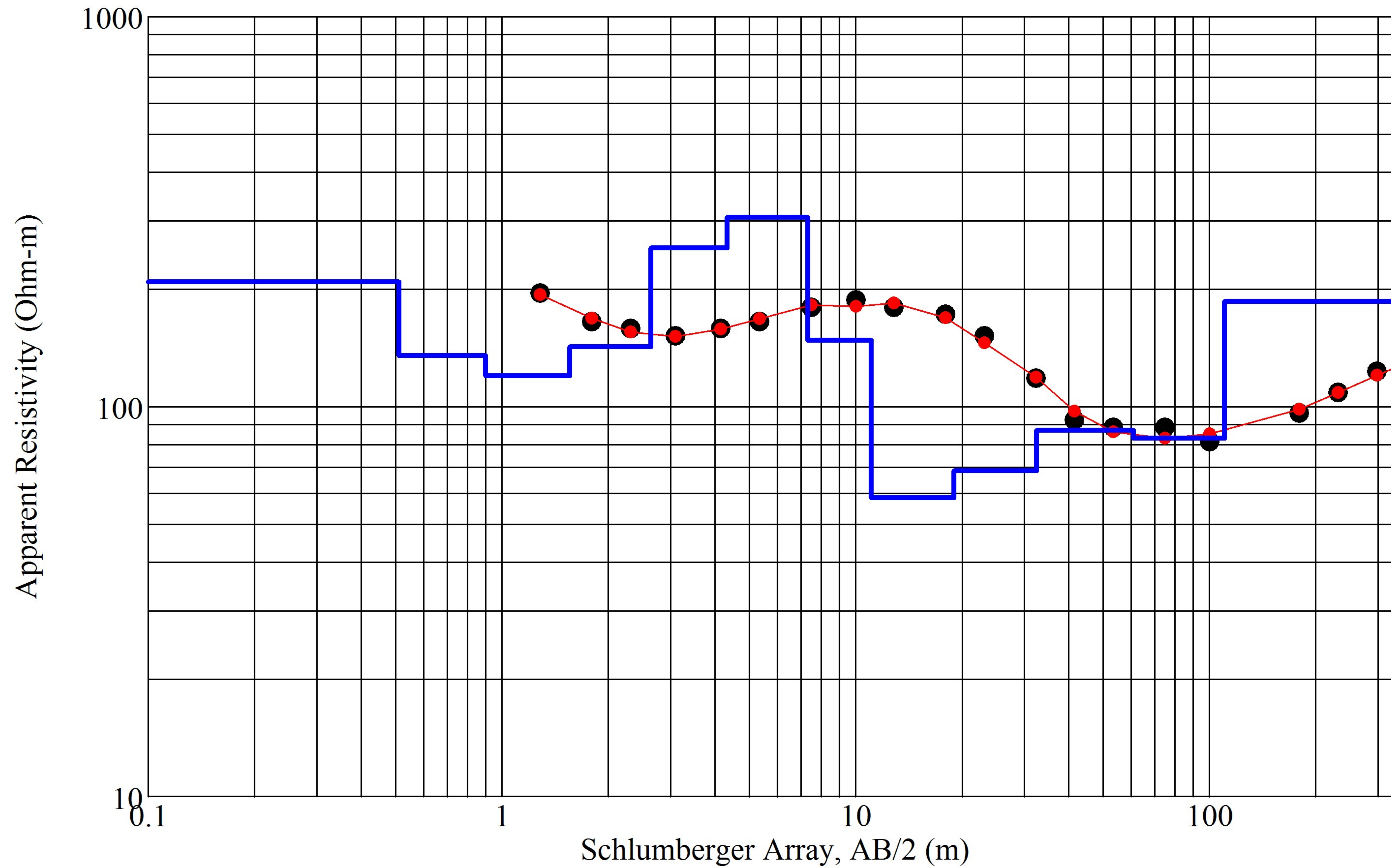
# SEV 17 Mendes - Measured and Modeled Data



# Layered Resistivity Model

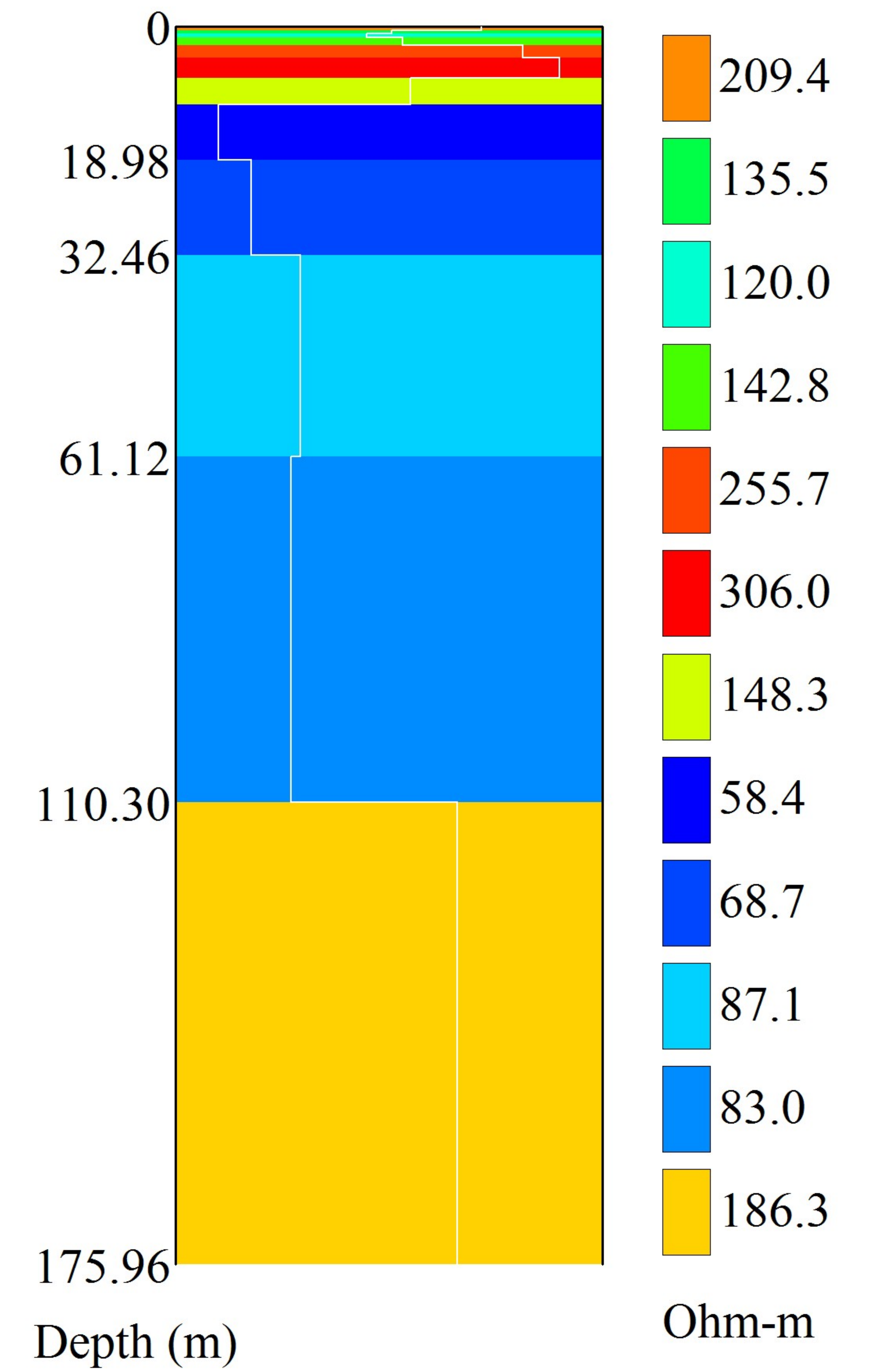


# SEV 18 Mendes - Measured and Modeled Data

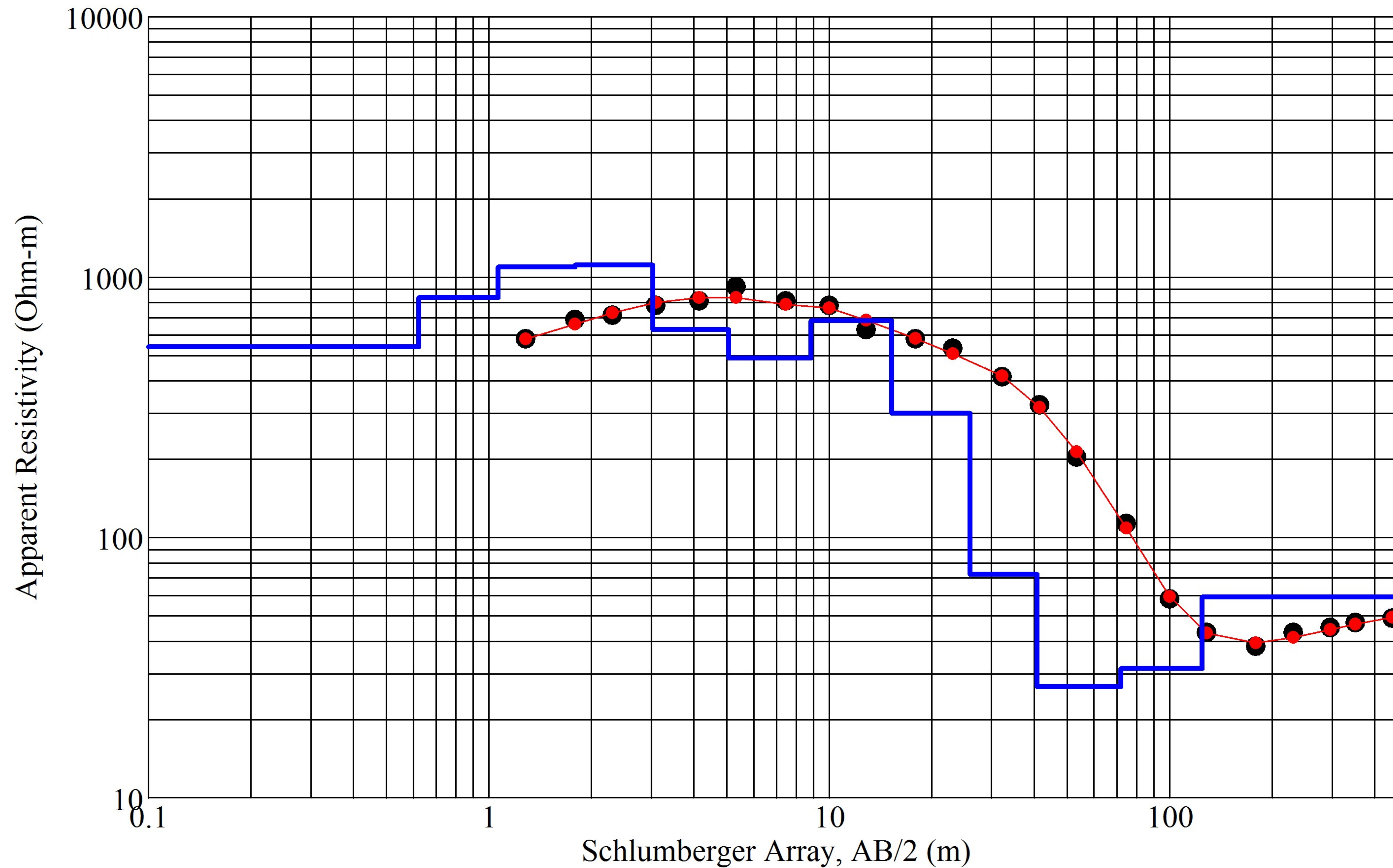


Iteration = 8 RMS = 2.90%

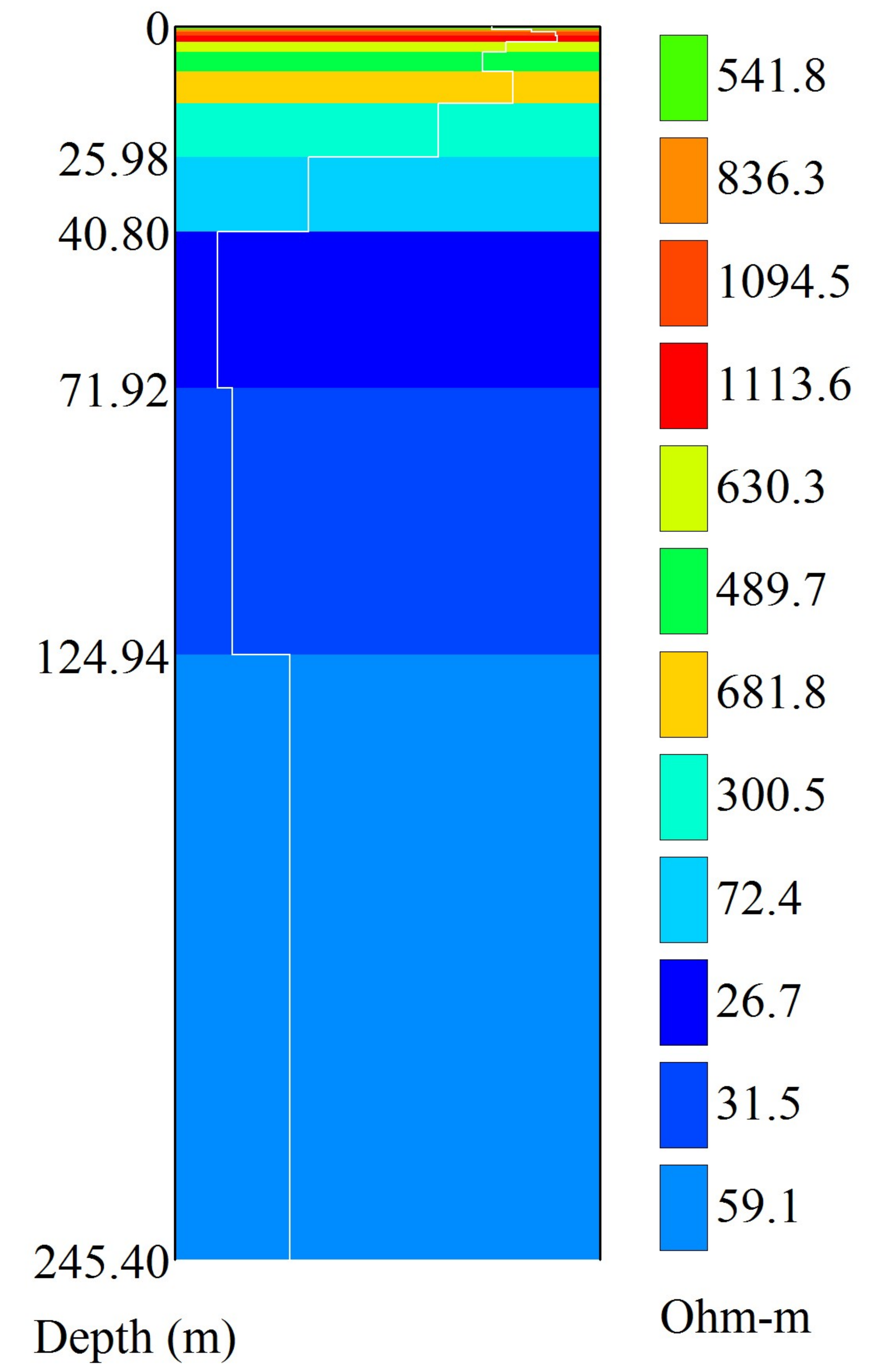
# Layered Resistivity Model



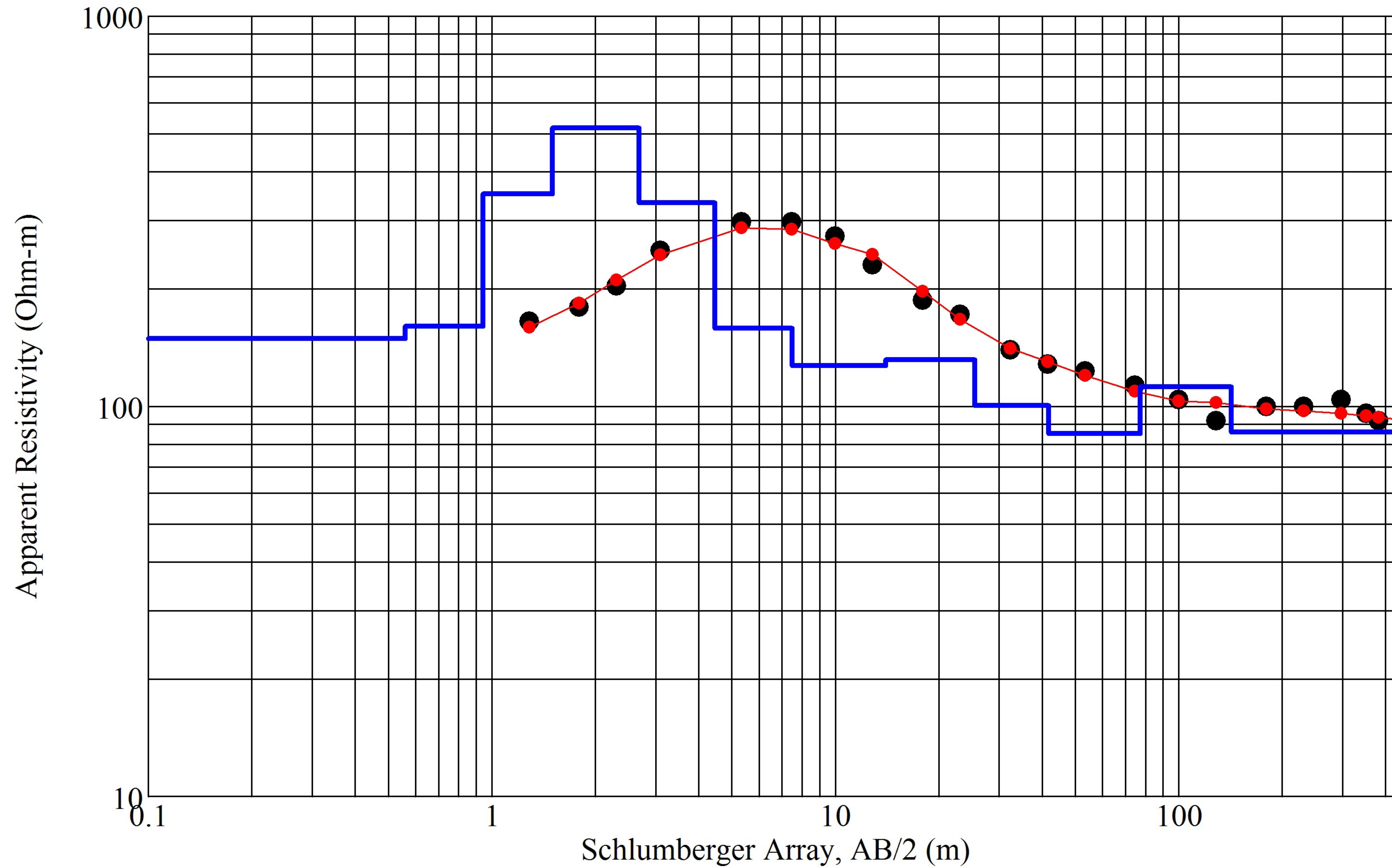
# SEV 19 Mendes - Measured and Modeled Data



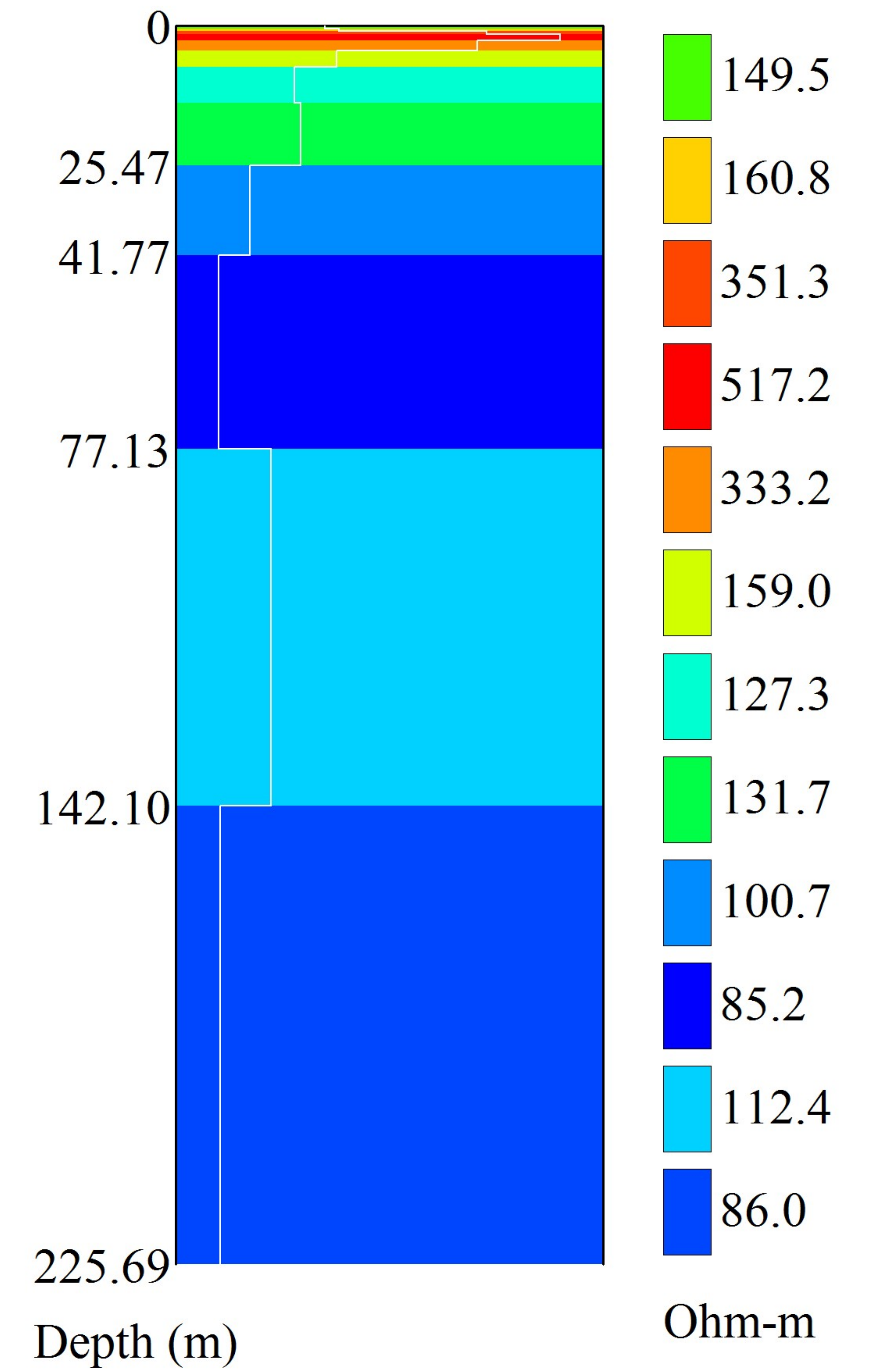
# Layered Resistivity Model



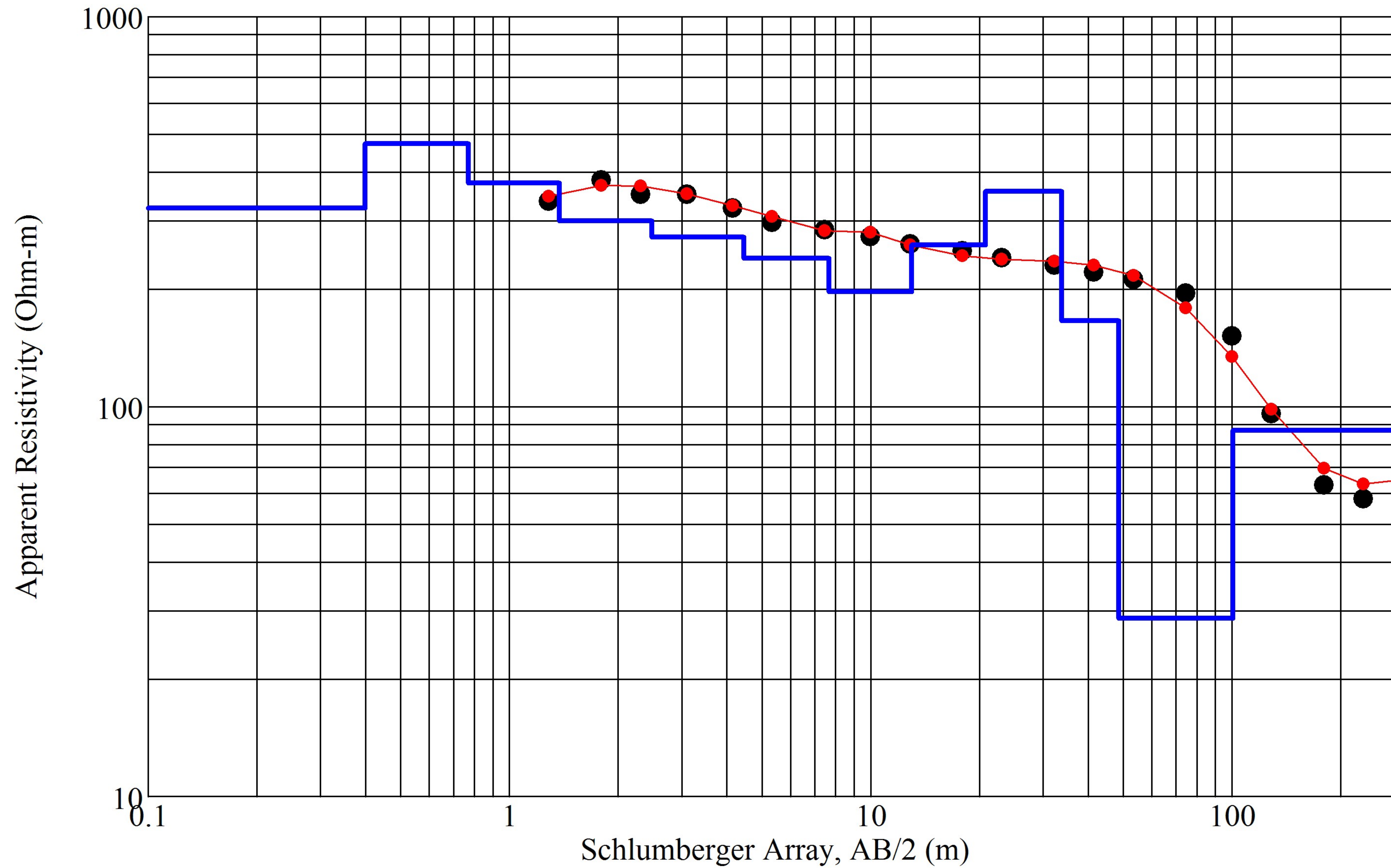
# SEV 20 Mendes - Measured and Modeled Data



# Layered Resistivity Model

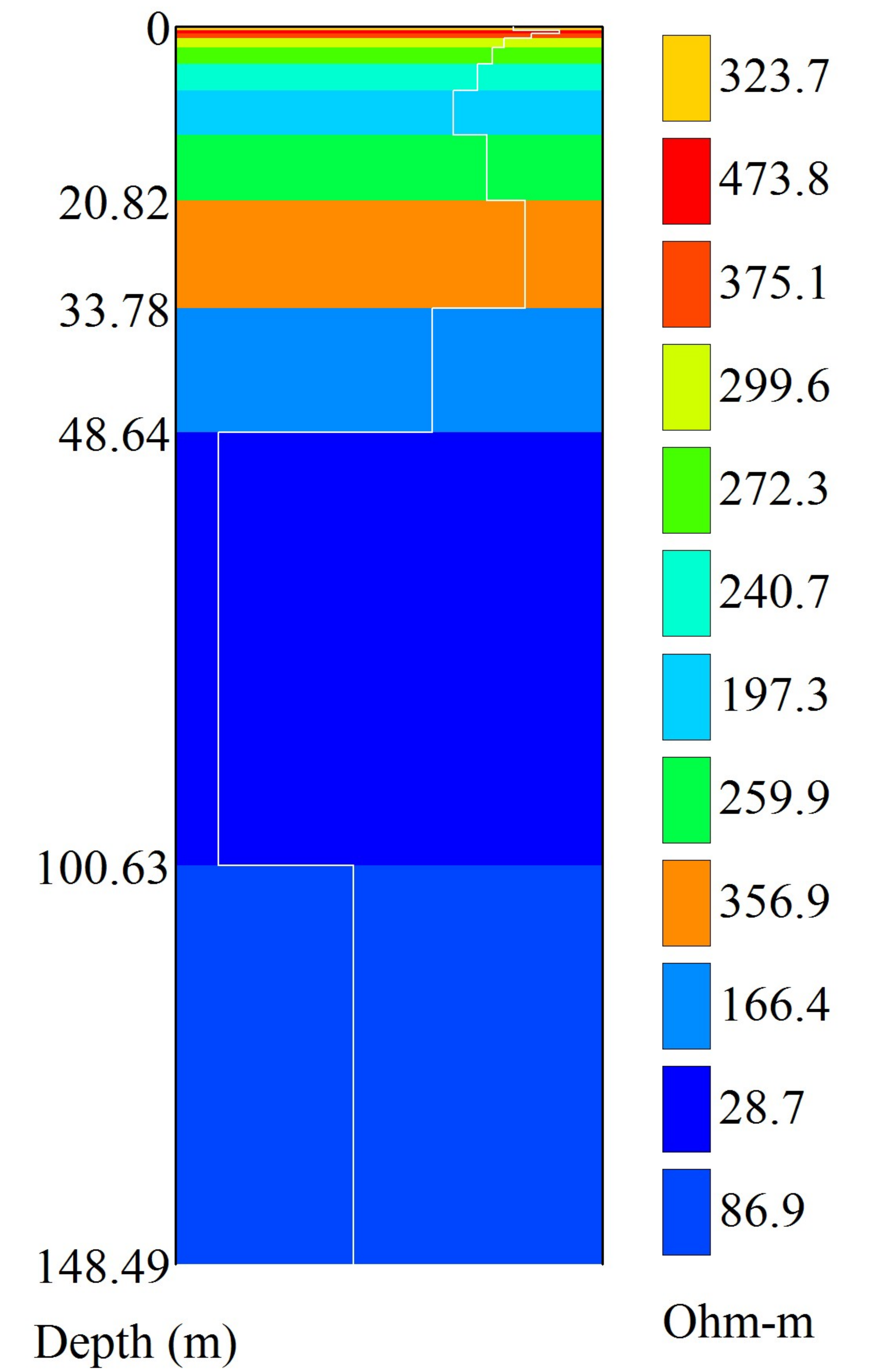


# SEV 21 Mendes - Measured and Modeled Data

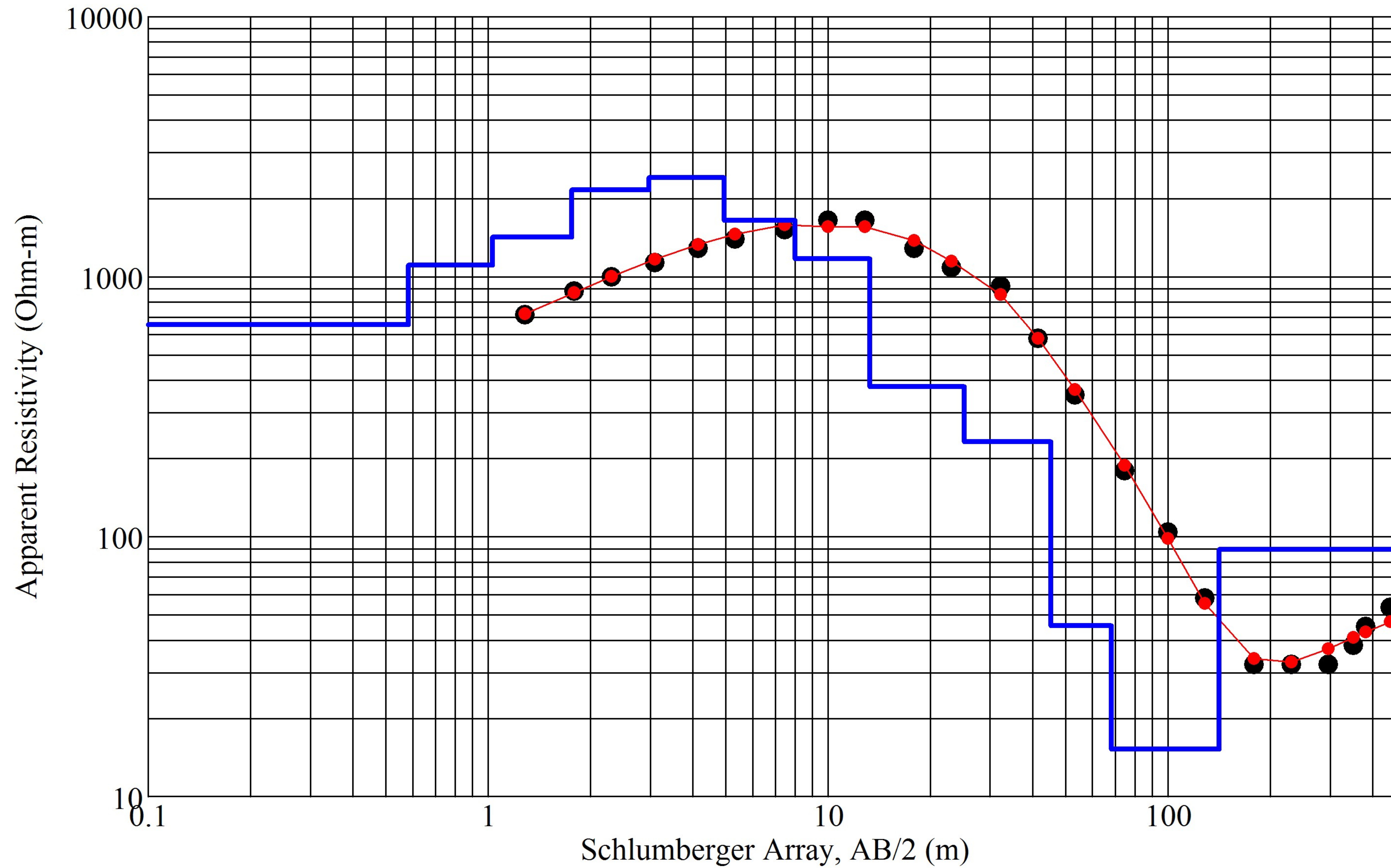


Iteration = 8 RMS = 6.68%

# Layered Resistivity Model

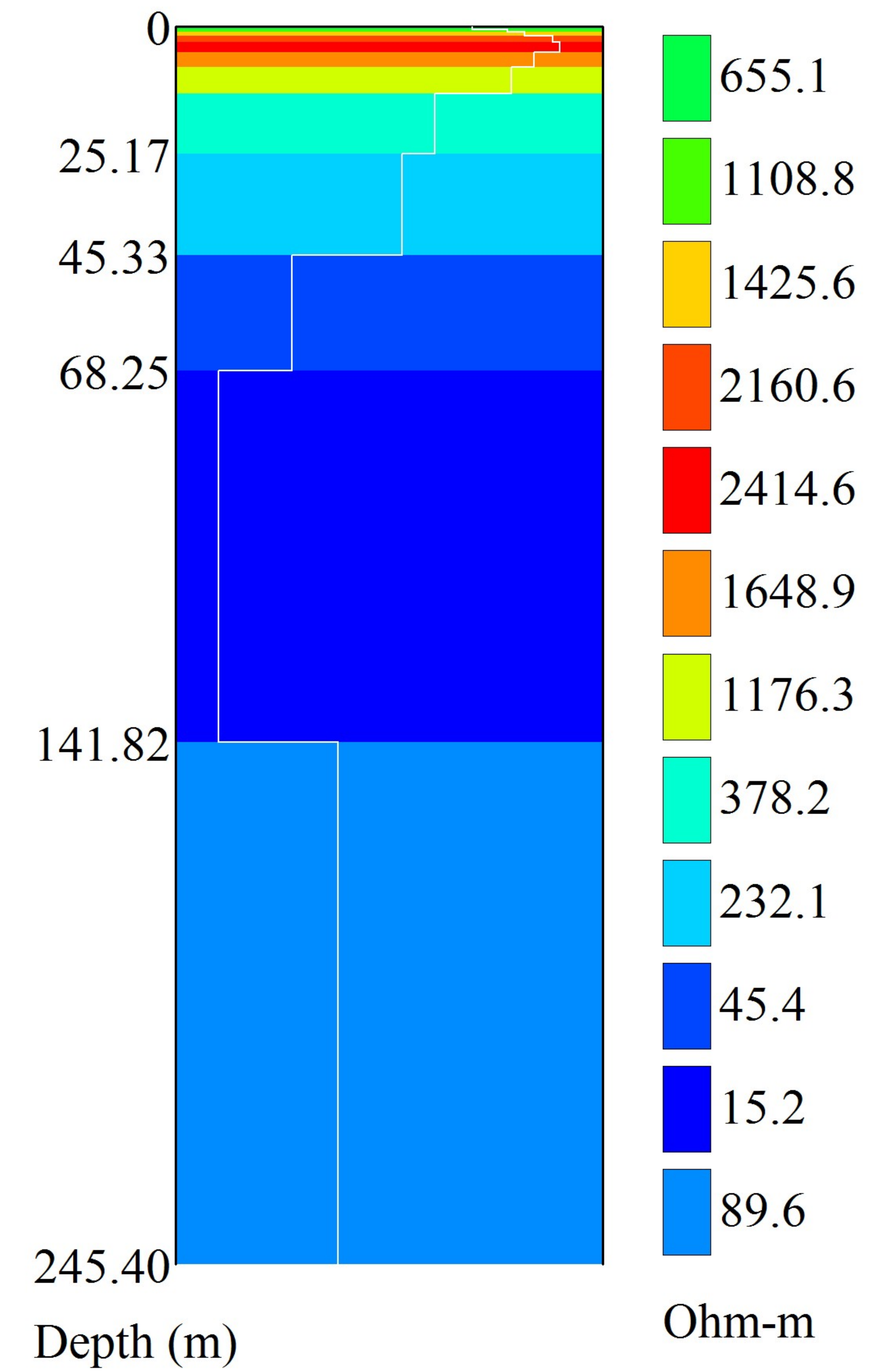


# SEV 22 Mendes - Measured and Modeled Data



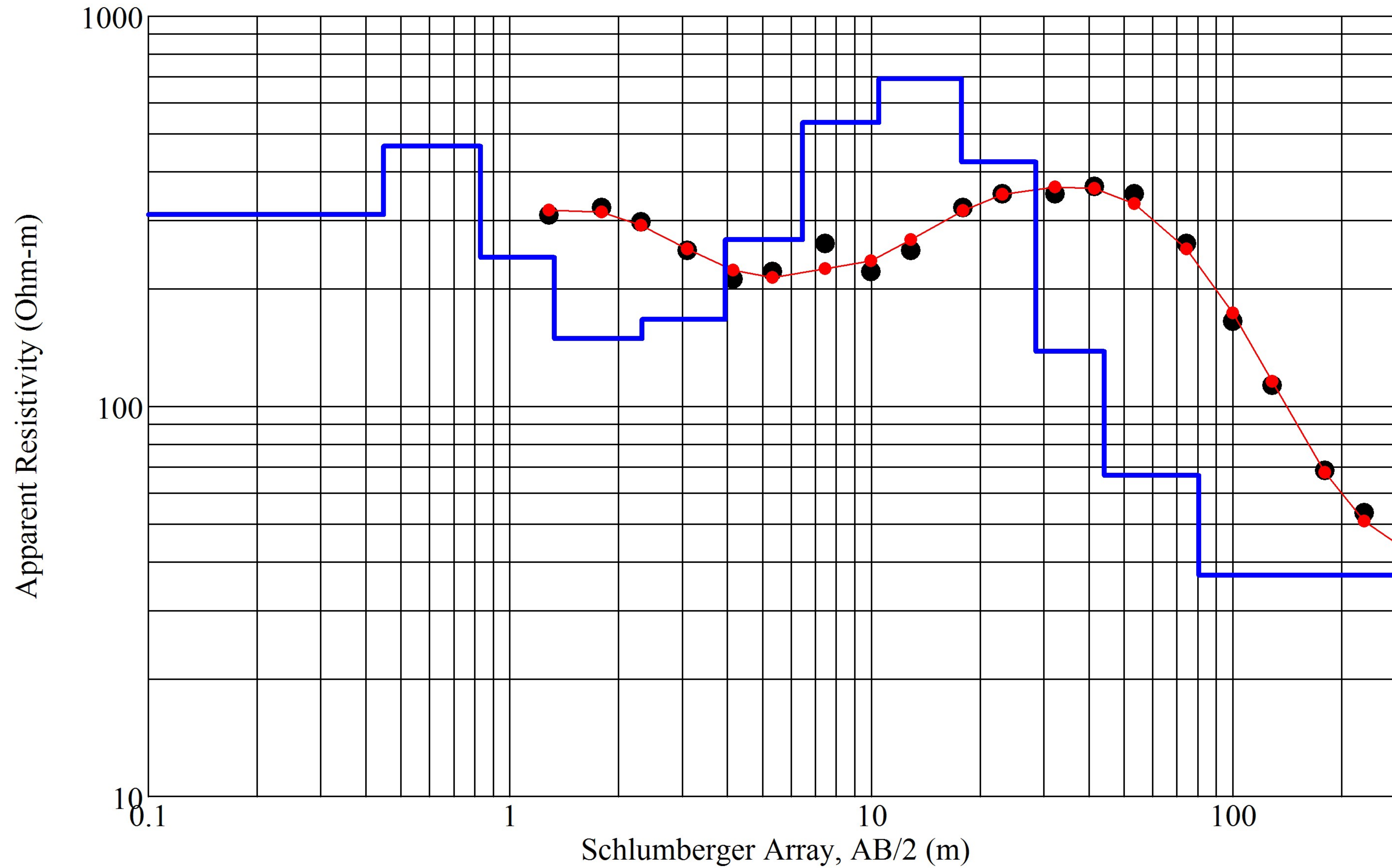
Iteration = 8 RMS = 7.40%

# Layered Resistivity Model

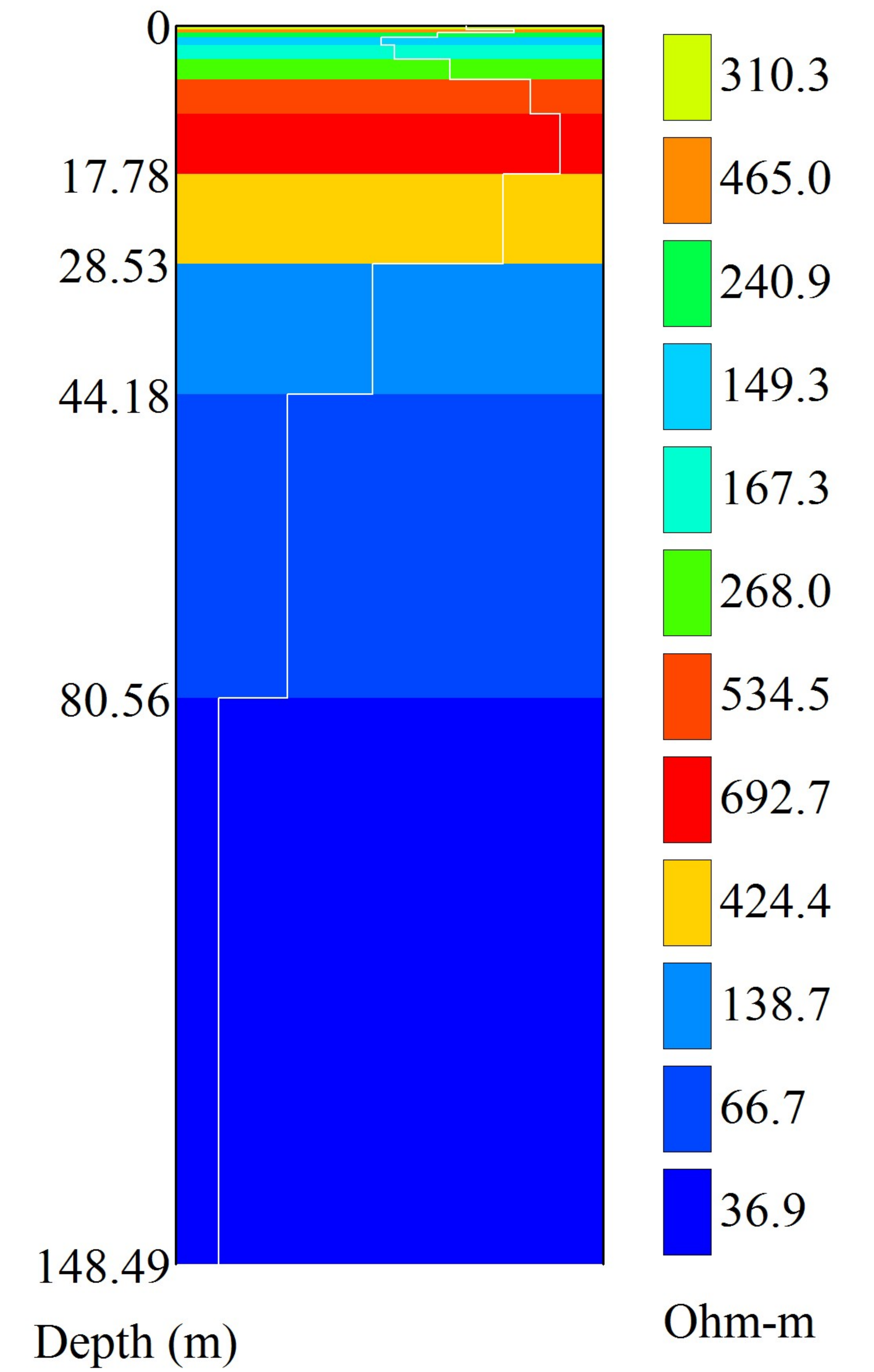




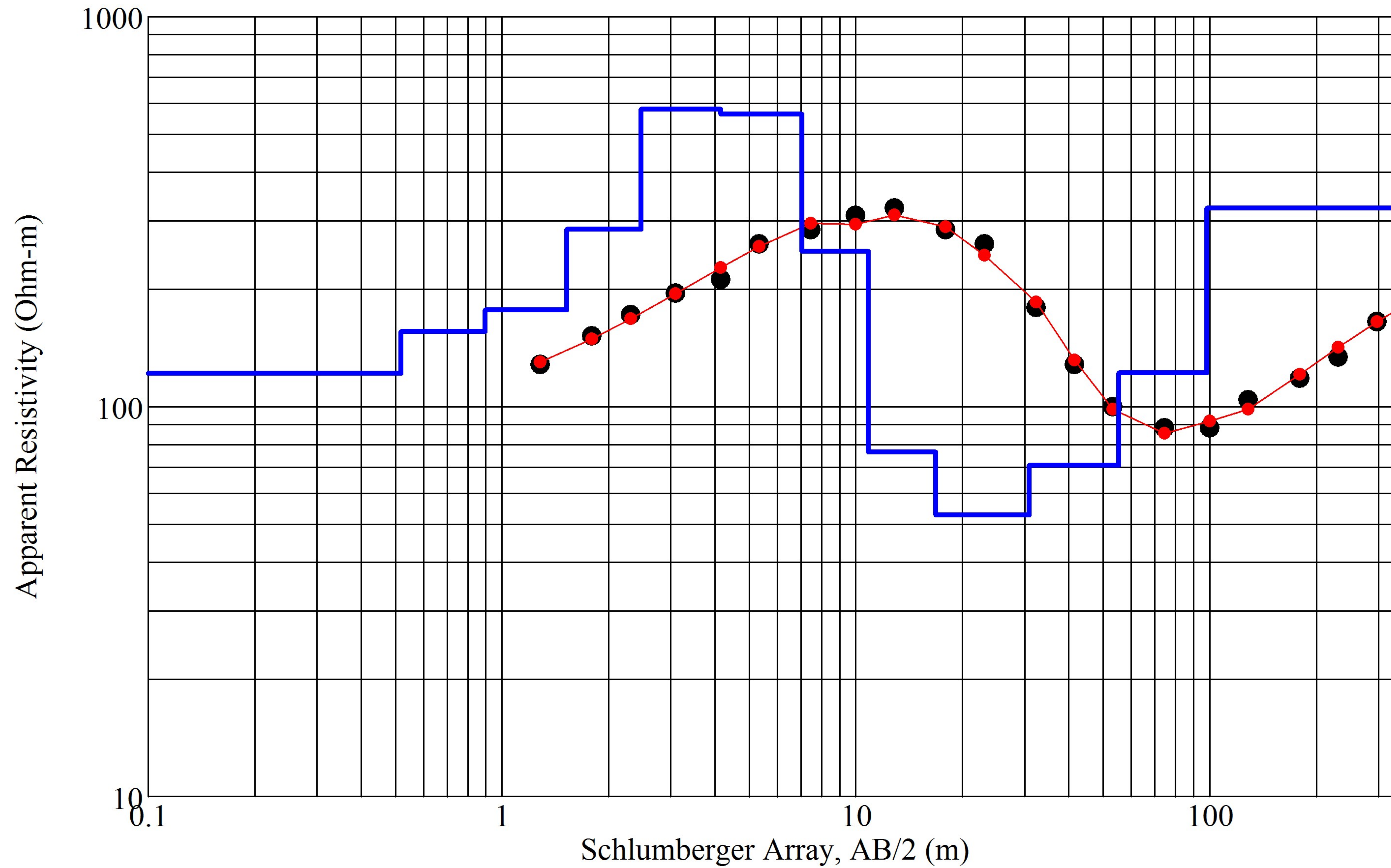
# SEV 23 Mendes - Measured and Modeled Data



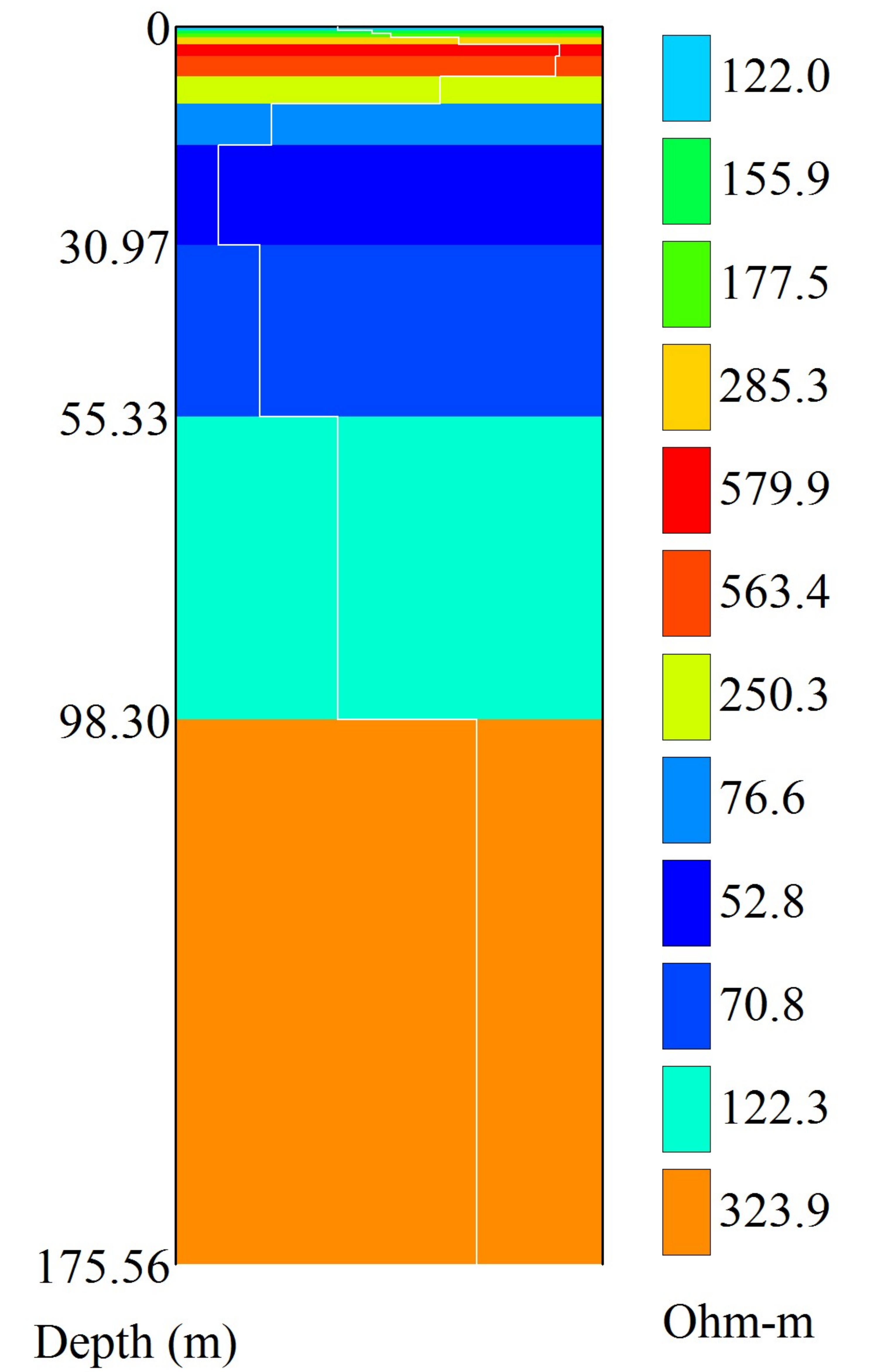
# Layered Resistivity Model



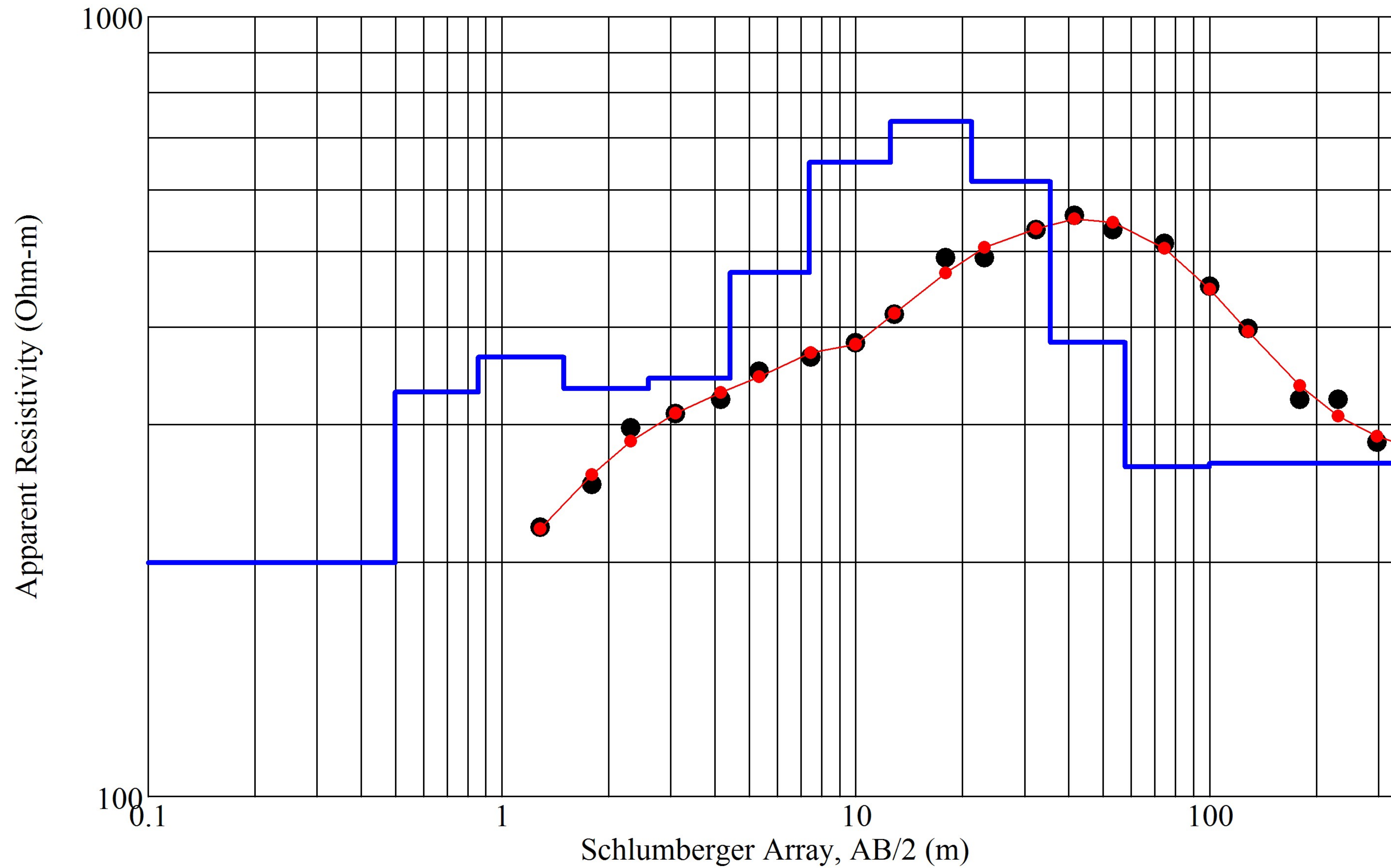
# SEV 24 Mendes - Measured and Modeled Data



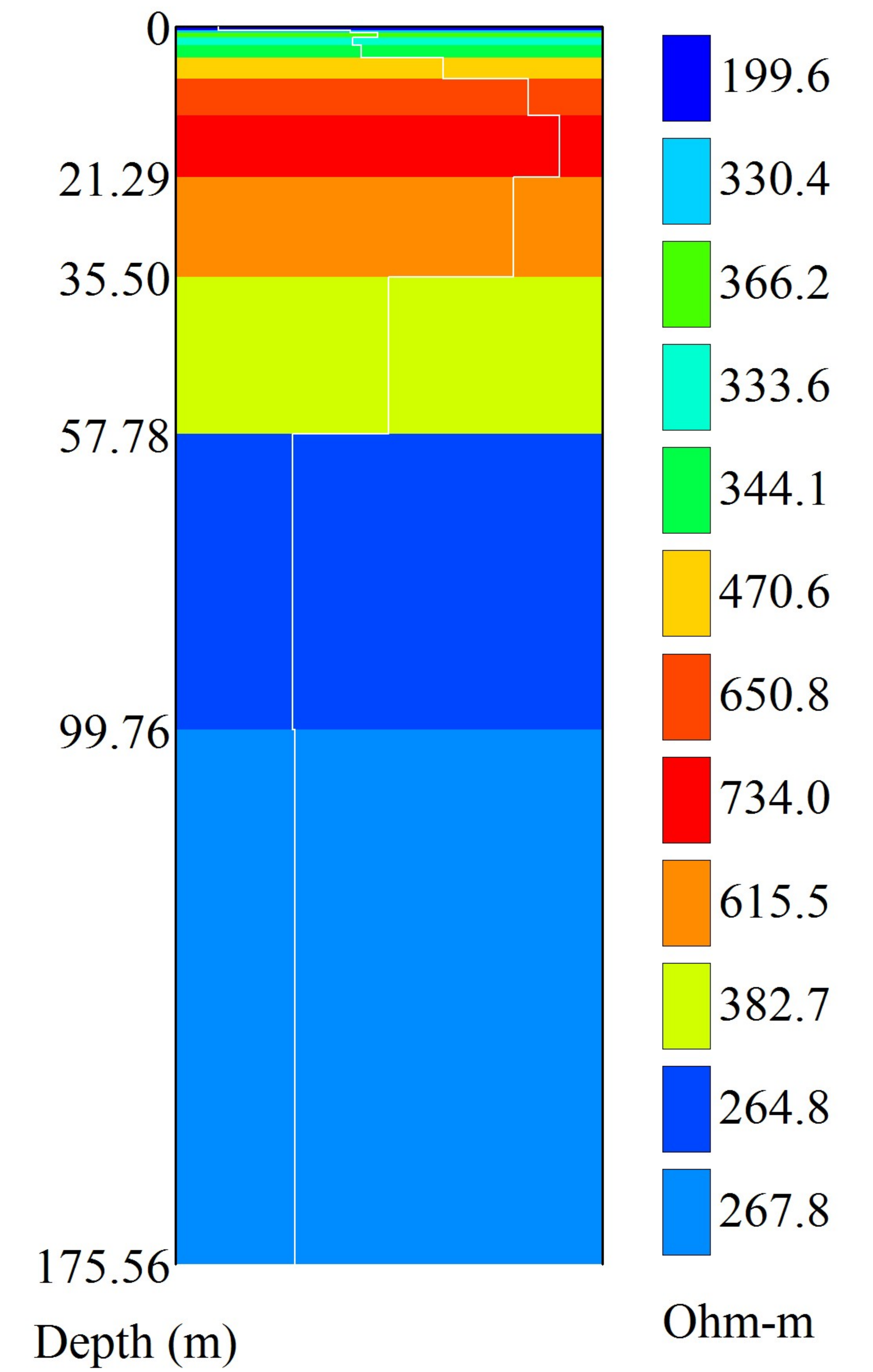
# Layered Resistivity Model



### SEV 25 Mendes - Measured and Modeled Data

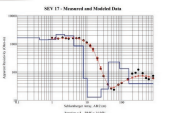


### Layered Resistivity Model

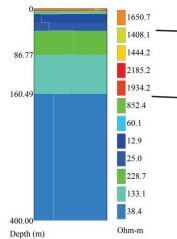


## ***ANEXO III – Seções Geofísicas***

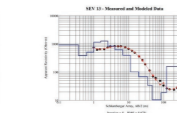
# SEV-17



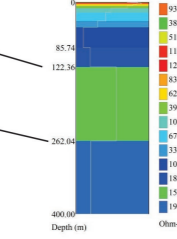
## Layered Resistivity Model



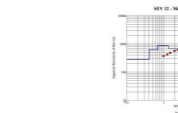
# SEV-14



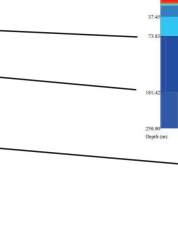
## Layered Resistivity Model



# SEV-13



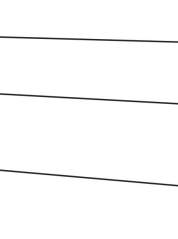
## Layered Resistivity Model



# SEV-12



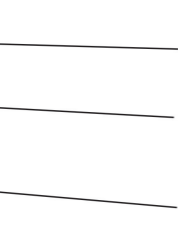
## Layered Resistivity Model



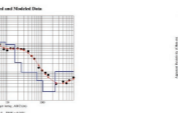
# SEV-11



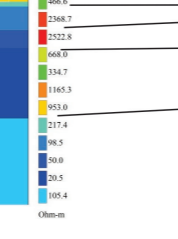
## Layered Resistivity Model



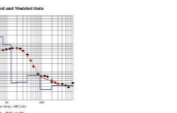
# SEV-10



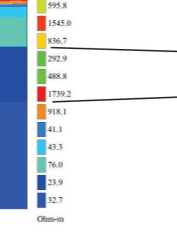
## Layered Resistivity Model



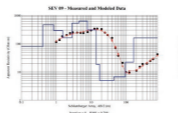
# SEV-09



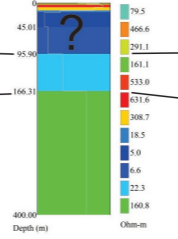
## Layered Resistivity Model



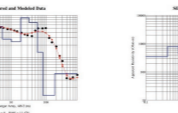
# SEV-08



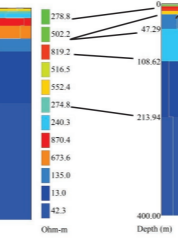
## Layered Resistivity Model



# SEV-07



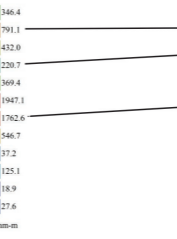
## Layered Resistivity Model



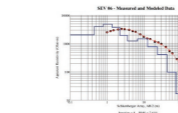
# SEV-06



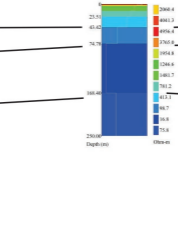
## Layered Resistivity Model



# SEV-05



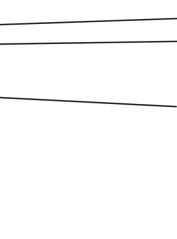
## Layered Resistivity Model



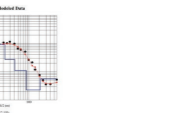
# SEV-04



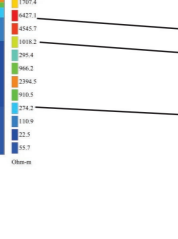
## Layered Resistivity Model



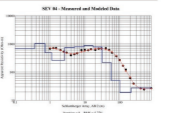
# SEV-03



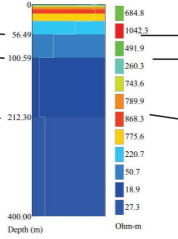
## Layered Resistivity Model



# SEV-02



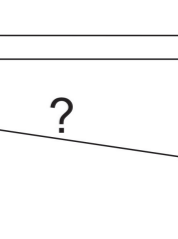
## Layered Resistivity Model



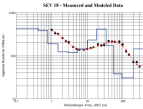
# SEV-01



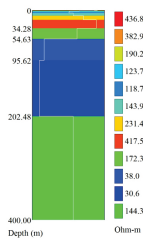
## Layered Resistivity Model



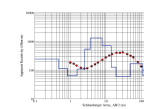
# SEV-18



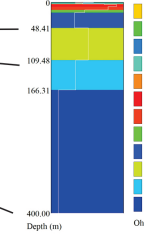
## Layered Resistivity Model



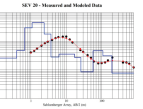
# SEV-19



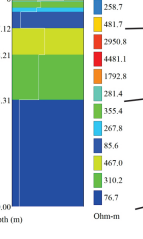
## Layered Resistivity Model



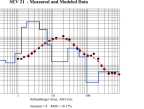
# SEV-20



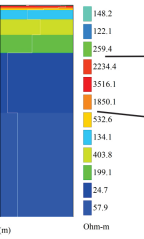
## Layered Resistivity Model



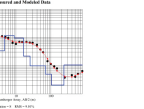
# SEV-21



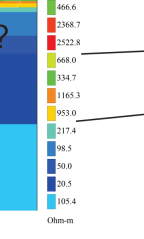
## Layered Resistivity Model



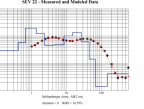
# SEV-11



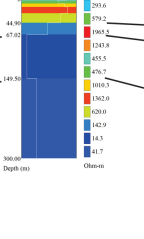
## Layered Resistivity Model



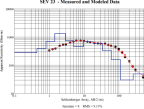
# SEV-22



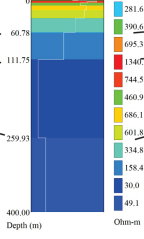
## Layered Resistivity Model



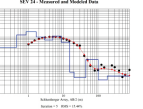
# SEV-23



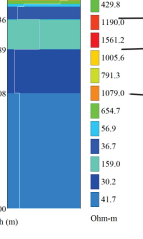
## Layered Resistivity Model



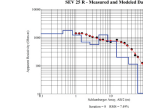
# SEV-24



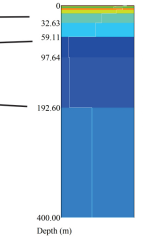
## Layered Resistivity Model



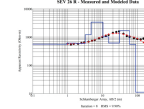
# SEV-25



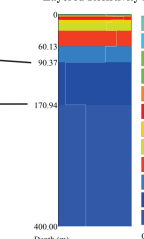
## Layered Resistivity Model



# SEV-26



## Layered Resistivity Model



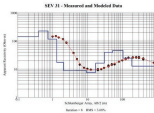
?

?

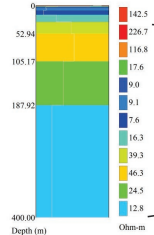
?

?

# SEV-31

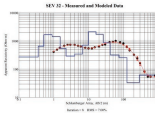


Layered Resistivity Model

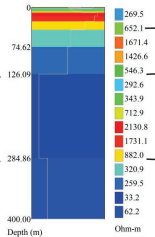


?

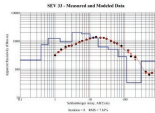
# SEV-32



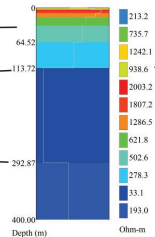
Layered Resistivity Model



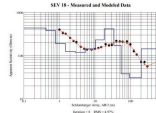
# SEV-33



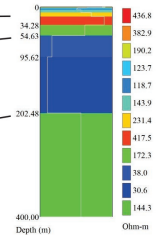
Layered Resistivity Model



# SEV-18

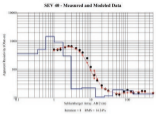


Layered Resistivity Model

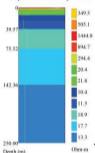


?

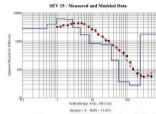
# SEV-40



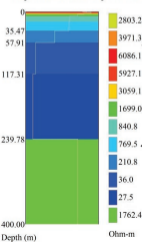
Layered Resistivity Model



# SEV-15



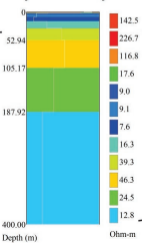
Layered Resistivity Model



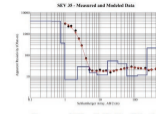
# SEV-31



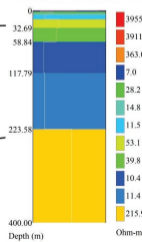
Layered Resistivity Model



# SEV-35

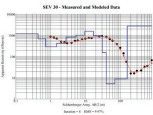


Layered Resistivity Model

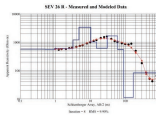




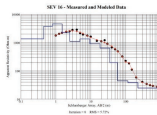
# SEV-30



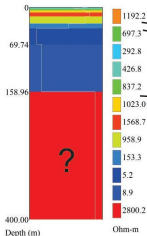
# SEV-26



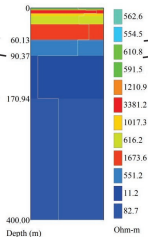
# SEV-16



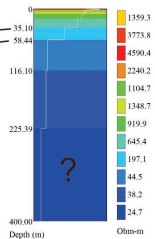
## Layered Resistivity Model



## Layered Resistivity Model



## Layered Resistivity Model





AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

Setor Policial, área 5, Quadra 3,  
Blocos "B", "L", "M", "N", "O" e T.  
PABX: (61) 2109-5400 | 21095252  
[www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)



Av. Iguaçu, 451, 6º andar, Petrópolis.  
Porto Alegre - RS. CEP: 90470-430  
Fone | Fax: (51) 3211-3944  
[www.profill.com.br](http://www.profill.com.br)

