

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS E DE VULNERABILIDADE DO SISTEMA AQUÍFERO URUCUIA

PROPOSIÇÃO DE MODELO DE GESTÃO
INTEGRADA E COMPARTILHADA

RELATÓRIO TÉCNICO TEMÁTICO

INVESTIGAÇÃO GEOFÍSICA NA REGIÃO DOS SISTEMAS AQUÍFEROS
URUCUIA (SAU) E AREADO (SAA)

C O N S Ó R C I O



República Federativa do Brasil

Michel Miguel Elias Temer Lulia

Presidente da República

Ministério do Meio Ambiente

Sarney Filho

Ministro

Agência Nacional de Águas

Diretoria Colegiada

Vicente Andreu (Diretor-Presidente)

Ricardo Medeiros de Andrade

João Gilberto Lotufo Conejo

Gisela Damm Forattini

Ney Maranhão

Superintendência de Implementação de Programas e Projetos - SIP

Tibério Magalhães Pinheiro

Victor Alexandre Bittencourt Sucupira

Coordenação de Águas Subterrâneas - COSUB

Fernando Roberto de Oliveira

Márcia Tereza Pantoja Gaspar (Gestora do Contrato)

Leonardo de Almeida (Gestor Substituto)

Adriana Niemeyer Pires Ferreira

Fabício Bueno da Fonseca Cardoso

Letícia Lemos de Moraes

**Estudos Hidrogeológicos e de Vulnerabilidade do Sistema
Aquífero Urucuia e Proposição de Modelo de Gestão
Integrada e Compartilhada**

RELATÓRIO TÉCNICO TEMÁTICO
INVESTIGAÇÃO GEOFÍSICA NA REGIÃO DOS
SISTEMAS AQUÍFEROS URUCUIA (SAU) E
AREADO (SAA)

© 2017 Agência Nacional de Águas – ANA
Setor Policial, Área 5, Quadra 3, Blocos B, L e M
CEP: 70610-200, Brasília - DF
PABX: 2109-5400 / 2109-5252
Endereço eletrônico: <http://www.ana.gov.br>

Capa:

Local da Foto: Cachoeira do Registro, Taguatinga (TO), Rio Sobrado, com vista da Serra Geral de Goiás (Grupo Urucuia)
Fotografia – Wilton Rocha

Equipe:

Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização – CTAF:

Márcia Tereza Pantoja Gaspar (ANA)	Leonardo de Almeida (ANA)	
José Jânio de Castro Lima (SEMA-MA)	Zoltan Romero C. Rodrigues (SEMA-BA)	Hugo Leonardo T. Soares (SECIMA)
Aldo Araújo de Azevedo (SEMADES-TO)	Eduardo Farias Topázio (INEMA-BA)	Maricene Menezes de O. M. Paixão (IGAM-MG)

Elaboração e Execução – CONSÓRCIO ENGECORPS – WALM:

Marcos Oliveira Godoi – Diretor Técnico do Consórcio
Maria Bernadete Sousa Sender – Coordenação Geral
Daniel Andreas Klein – Apoio à Coordenação
Jacinto Costanzo Junior – Coordenação Setorial

Membros da Equipe Técnica Executora:

Flávio de Paula e Silva – Coordenação Técnica

Alberto Lang Filho	Marcia Regina Stradioto	Walter Sergio de Faria
Rinaldo Moreira Marques	Ualfrido del Carlo Junior	Lígia Monteiro da Silva
Andresa Oliva	Aída M. Pereira Andreazza	Laura Rocha de Castro
Maria Luiza M. Granziera	Elias Hideo Teramoto	Maíra Gimenes
Mirtis Malagutti	Fernando Garcia	Milena Mariano dos Santos
Sibele Lima Dantas	Henrique A. de A. Ramos	Fernanda Machado Martins
Caetano Pontes Costanzo	Lígia de Souza Girnius	Fernando Santos Corrêa
Talita Filomena Silva	Christiane Spörl	

Agradecimentos

Agradecemos aos professores José Eloi Guimarães Campos (UnB), Chang Hung Kiang (UNESP - Rio Claro) e Francisco Manoel Wohnrath Tognoli (UNISINOS) pela colaboração nas discussões técnicas no âmbito destes estudos, bem como todos os demais 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 à fonte.

A265m Agência Nacional de Águas (Brasil).
Estudos hidrogeológicos e de vulnerabilidade do Sistema Aquífero Urucuia e proposição de modelo de gestão integrada compartilhada: investigação geofísica na região dos Sistemas Aquíferos Urucuia (SAU) e Areado (SAA): relatório técnico temático / Agência Nacional de Águas; Elaboração e Execução: Consórcio Engecorps - Walm. -- Brasília: ANA, 2017.

94 p. il.

1. Hidrogeologia. 2. Água Subterrânea. 3. Aquífero Urucuia.
I. Consórcio Engecorps II. Título

CDU 556.33

ÍNDICE

PÁG.

1.	INTRODUÇÃO.....	4
2.	ELETRORRESISTIVIDADE.....	6
2.1	ASPECTOS METODOLÓGICOS	6
2.2	A TÉCNICA DA SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL.....	7
2.3	INTERPRETAÇÃO DOS DADOS	10
3.	GRAVIMETRIA.....	12
3.1	BASE TEÓRICA DO MÉTODO.....	12
3.2	REDUÇÕES GRAVIMÉTRICAS.....	13
3.2.1	<i>Cálculo da Anomalia Bouguer.....</i>	<i>14</i>
3.2.2	<i>Cálculo da Anomalia Regional</i>	<i>14</i>
3.2.3	<i>Cálculo da Anomalia Bouguer Residual</i>	<i>14</i>
3.2.4	<i>Modelagem Gravimétrica</i>	<i>15</i>
3.2.5	<i>O Gravímetro.....</i>	<i>15</i>
3.2.6	<i>Metodologia de Campo e Processamento dos Dados</i>	<i>15</i>
4.	SONDAGEM VERTICAL NO DOMÍNIO DO TEMPO.....	17
4.1	BASE TEÓRICA DO MÉTODO.....	17
4.2	METODOLOGIA DE CAMPO	19
5.	RESULTADOS.....	20
5.1	MÉTODO DA ELETRORRESISTIVIDADE	20
5.1.1	<i>Eletrofácies do Sistema Aquífero Urucua</i>	<i>22</i>
5.1.2	<i>Correlação dos Ensaio Geofísicos - SEV.....</i>	<i>25</i>
5.1.3	<i>Nível da Água Subterrânea e Espessura do SAU e SAA.....</i>	<i>35</i>
5.2	MÉTODO ELETROMAGNÉTICO - TDEM.....	48
5.3	MÉTODO GRAVIMÉTRICO.....	55
5.3.1	<i>Processamento e Modelagem Gravimétrica</i>	<i>57</i>
6.	CONCLUSÕES	67
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
	ANEXO I – IDENTIFICAÇÃO DAS SEVS EXECUTADAS E MODELADAS.....	70
	ANEXO II - DADOS DE CAMPO - SEVS.....	74
	ANEXO III – MODELOS GEOELÉTRICOS - SEVS.....	77
	ANEXO IV – CURVAS MODELADAS - SEVS.....	79

<i>ANEXO V – IDENTIFICAÇÃO DOS ENSAIOS TDEM EXECUTADOS E MODELADOS E A ESPESSURA DO SAU</i>	<i>81</i>
<i>ANEXO VI – DADOS DE CAMPO - TDEM</i>	<i>86</i>
<i>ANEXO VII – CURVAS MODELADAS - TDEM.....</i>	<i>88</i>
<i>ANEXO VIII – IDENTIFICAÇÃO DAS ESTAÇÕES GRAVIMÉTRICAS.....</i>	<i>90</i>
<i>ANEXO IX – RELATÓRIOS DE ESTAÇÃO GEODÉSICA - IBGE</i>	<i>92</i>

1. INTRODUÇÃO

Este Relatório Técnico apresenta os resultados das investigações geofísicas desenvolvidas no âmbito dos “Estudos Hidrogeológicos e de Vulnerabilidade no Sistema Aquífero Urucuia e Proposição de Modelo de Gestão Integrada e Compartilhada”.

A Geofísica é uma das áreas de conhecimento do ramo principal de Ciências da Terra. Permite estabelecer modelos físicos para o comportamento de materiais geológicos distintos a partir de variações das propriedades físicas dos materiais que constituem o subsolo. Por se tratar de um método indireto, permite cobrir áreas extensas com baixos custos de levantamento.

O objetivo dos serviços desenvolvidos no presente estudo foi determinar a distribuição espacial, espessura, litofácies e profundidade do nível d’água do Sistema Aquífero Urucuia (SAU) nas sub-bacias Urucuia e Abaeté.

Os trabalhos foram desenvolvidos com equipamentos modernos de alto desempenho que possibilitaram a aquisição de dados precisos e confiáveis.

Foram empregados três métodos geofísicos distintos nesses estudos: Método da Eletrorresistividade que utilizou a técnica de Sondagem Elétrica Vertical (SEV), Método Gravimétrico e Método Eletromagnético, que utilizou a técnica da Sondagem Vertical no Domínio do Tempo (TDEM).

Os locais de execução dos ensaios foram escolhidos de maneira a distribuí-los uniformemente em toda área a ser estudada, respeitando as limitações topográficas, de urbanização e metodológicas.

Foram executadas 149 SEVs, incluindo as utilizadas para a parametrização, 200 pontos de TDEM e 200 estações gravimétricas.

Os resultados mostraram que os diferentes métodos geofísicos aplicados nesse estudo, mesmo com as limitações inerentes a cada um, atingiram o objetivo proposto de expandir o nível de conhecimento sobre o SAU.

O conteúdo final resumido deste relatório está no Tomo I do Volume 1 do Relatório Final dos estudos.

Apresenta-se a seguir as descrições detalhadas dos métodos geofísicos utilizados nos levantamentos. A Figura 1.1 ilustra a localização dos ensaios geofísicos executados na área de estudo.

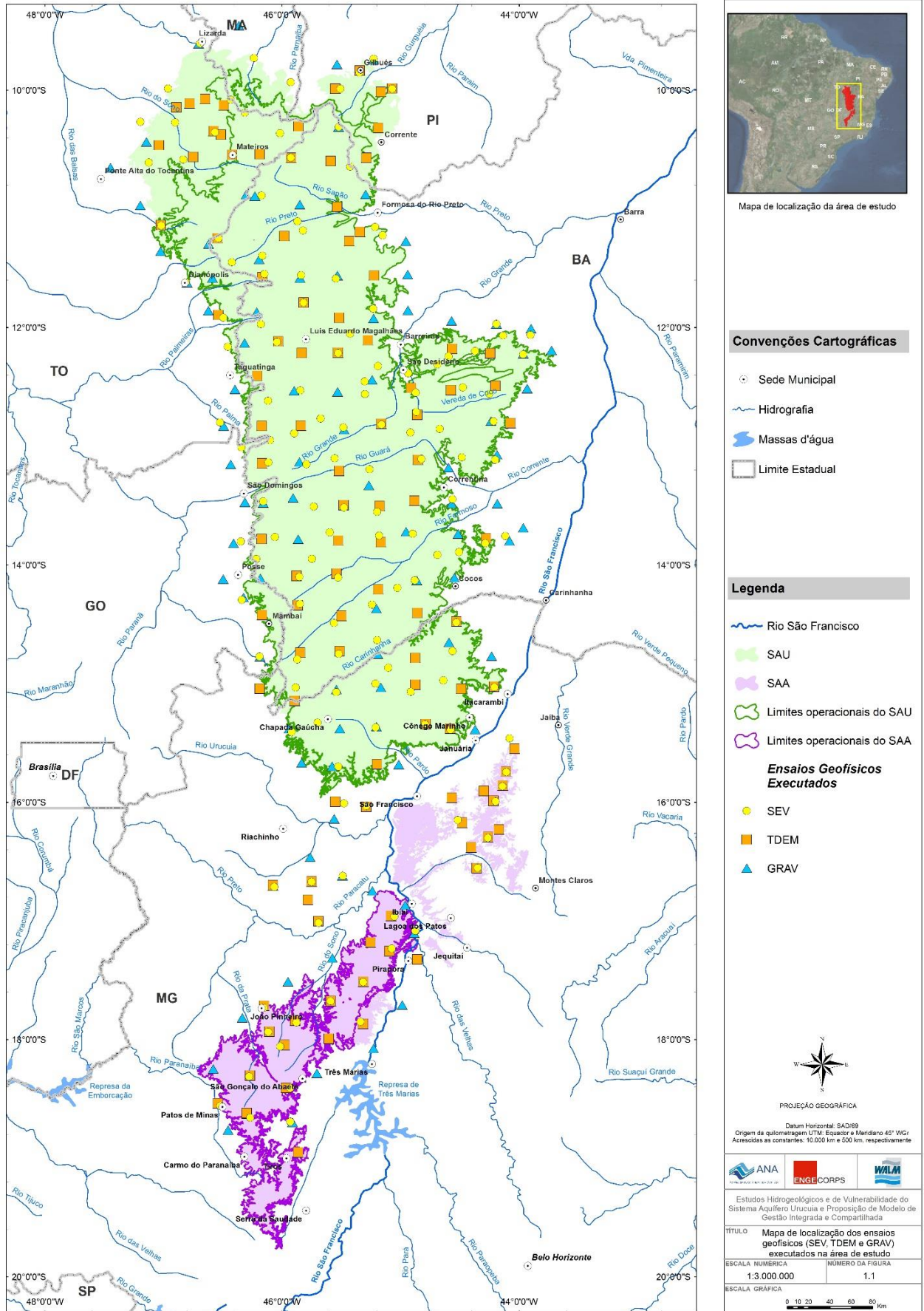


Figura 1.1 - Localização dos ensaios geofísicos executados na área de estudo

2. *ELETRORRESISTIVIDADE*

2.1 *ASPECTOS METODOLÓGICOS*

O método da eletrorresistividade (ER) faz parte dos métodos geoeletricos utilizados na medição dos parâmetros relacionados ao fluxo de corrente elétrica, que podem utilizar tanto fontes naturais de corrente (por exemplo, processos eletroquímicos), como fontes artificiais de corrente de baterias e geradores que alimentam uma unidade transmissora de corrente.

A propriedade elétrica mais significativa dos materiais constituintes do subsolo é a resistividade, inversamente proporcional à condutividade elétrica. Outras propriedades também importantes, mas de menor relevância, são a permeabilidade magnética, que é um fator de influência indireta, e a constante dielétrica das rochas e minerais (Telford et al., 1990).

Fisicamente, o mecanismo de propagação da corrente elétrica nas rochas pode ocorrer através de conduções eletrônica (ôhmica), eletrolítica (iônica) e dielétrica.

A condução eletrônica se verifica em materiais que possuem elétrons livres na matriz da rocha, governada pelo modo de agregação dos minerais e do grau de impurezas na rede cristalina, o que se dá principalmente nos condutores, como é o caso dos metais ou dos sulfetos metálicos. Também ocorre nos materiais semicondutores, normalmente maus condutores ou até mesmo isolantes, que possuem poucos ou nenhum caminho que possibilite a passagem de corrente.

Na condução iônica, o fluxo de corrente refere-se ao deslocamento de íons dissolvidos nos eletrólitos, contidos em poros e fissuras das rochas. Ocorre principalmente em materiais geológicos de baixa condutividade ou dielétricos, ou seja, os elétrons estão fortemente ligados aos núcleos dos átomos ou da rede cristalina. Este modo de propagação da corrente elétrica é a maneira de condução elétrica de maior importância nos estudos geofísicos e de eletrorresistividade.

A condução dielétrica pode ser eletrônica, iônica ou molecular (mais comum em materiais que contêm água ou hidrocarboneto).

O parâmetro físico resistividade elétrica (ρ) é responsável tanto pela condução eletrônica quanto pela eletrolítica. Definida como a resistência dos materiais em conduzir corrente elétrica, depende da natureza e do estado físico do material.

Considerando um cilindro sólido de comprimento L e seção A , de resistência R , a resistividade elétrica ρ é dada por (Figura 2.1):

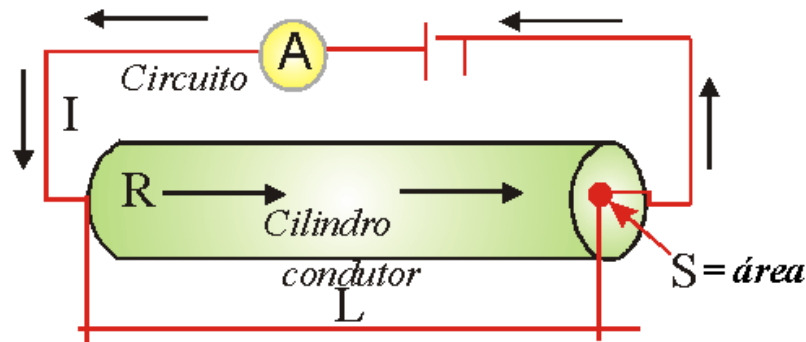


Figura 2.1 – Definição da resistividade dos materiais.

$$\rho = \frac{RA}{L},$$

Onde: ρ - resistividade (ohm.m); R - resistência (Ω); A - área (m^2); L – comprimento do sólido (m).

A resistência R pode ser medida por meio da voltagem V, aplicada entre os extremos do cilindro, e da corrente resultante I, que flui através dele, valendo-se da Lei de Ohm,

$$R = \frac{V}{I},$$

Onde: R - resistência (Ω); V - voltagem (V); I - corrente (A - ampère)

O inverso da resistividade é a condutividade elétrica (σ), cuja unidade é o Siemens por metro (S/m).

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{L}{RA} = \frac{\left(\frac{I}{A}\right)}{\left(\frac{V}{L}\right)} = \frac{\bar{J}_{\text{médio}}}{\bar{E}_{\text{médio}}}$$

Onde: J – densidade da corrente (A/m^2); E – campo elétrico (V/m).

2.2 A TÉCNICA DA SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL

A técnica de Sondagem Elétrica Vertical (SEV) fundamenta-se na análise e interpretação das respostas do campo elétrico gerado no subsolo, por meio de eletrodos colocados na superfície do terreno, aos quais é aplicada uma corrente elétrica. Esta técnica foi utilizada com o objetivo de investigar, em profundidade, os diferentes tipos e situações geológicas no subsolo, determinando suas espessuras e resistividades.

Para que a técnica da SEV seja aplicada são necessários alguns componentes tais como: conjunto transmissor de corrente elétrica contínua ou alternada; conjunto receptor responsável pela medida de diferença de potencial; eletrodos, bobinas e cabos.

Conhecendo-se a intensidade da corrente elétrica transmitida, a diferença de potencial medida e a geometria de distribuição dos eletrodos é possível calcular a resistividade aparente (ρ_a).

Existem vários tipos de arranjos para a execução de uma SEV. Neste estudo foi escolhido o arranjo conhecido como Schlumberger, que consiste basicamente de quatro eletrodos cravados na superfície do terreno: dois destes eletrodos têm a função de gerar corrente elétrica no terreno (eletrodos A e B), enquanto o outro par é utilizado para medir a diferença de potencial que se estabelece entre eles (eletrodos M e N) (Figura 2.2). Para aumentar a profundidade de investigação, separam-se os eletrodos A e B progressiva e simetricamente ao centro "O". Este arranjo foi escolhido levando-se em consideração dois aspectos: a praticidade em campo e a boa resolução nas heterogeneidades verticais.

Vale lembrar que no desenvolvimento de uma SEV, ao aumentar o espaçamento entre os eletrodos AB com MN fixo, o valor da diferença de potencial diminui com rapidez, atingindo valores imprecisos. Uma das formas de manter a integridade dos valores é aumentar a intensidade da corrente, o que muitas vezes não é possível devido às limitações do equipamento. Outra forma de solução do problema é por meio da operação conhecida por "embreagem". Esta operação consiste em aumentar o valor da diferença de potencial por meio da separação dos dois eletrodos de potencial (MN), mantendo fixos os eletrodos de corrente (AB). Com isto, realizam-se duas leituras de diferença de potencial com espaçamento dos eletrodos de corrente fixo. A embreagem deve ser efetuada até o final do ensaio, pois além de manter as leituras de diferença de potencial dentro de um intervalo aceitável, pode-se controlar a qualidade dos resultados obtidos.

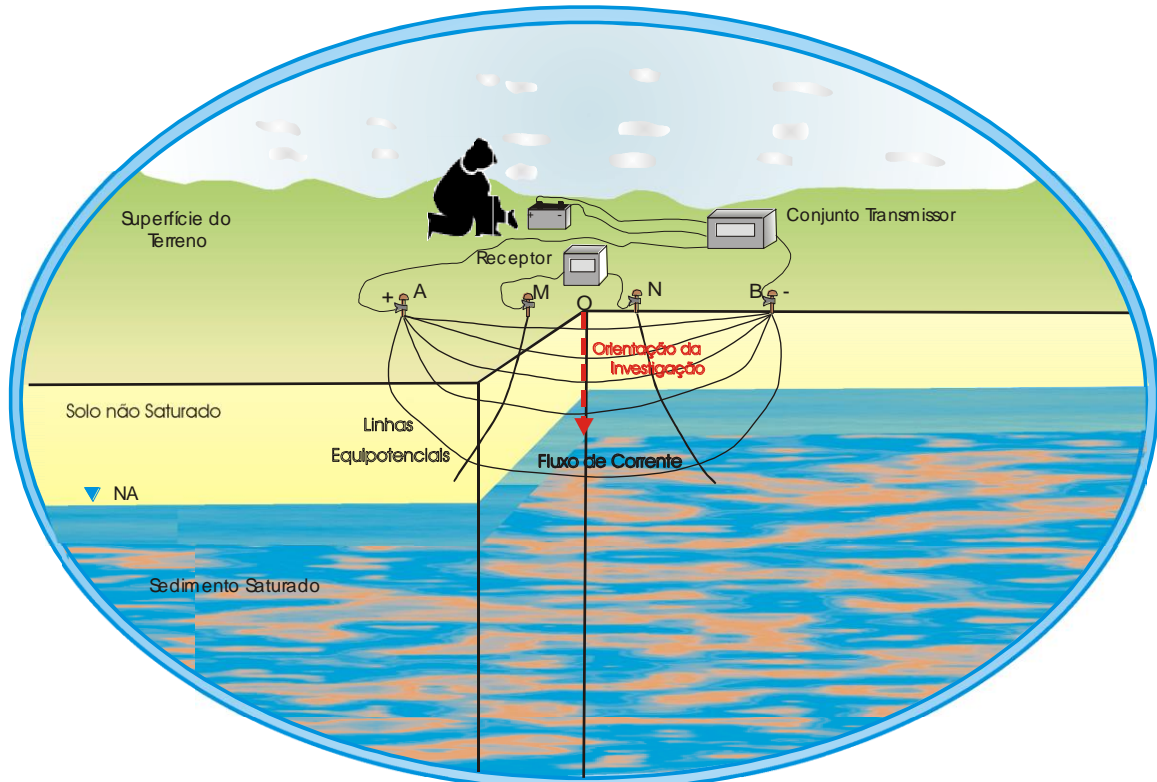


Figura 2.2 – Disposição dos circuitos de emissão e de recepção da técnica da SEV - arranjo Schlumberger.

Os espaçamentos entre os eletrodos de emissão de corrente (AB) das sondagens elétricas, os quais condicionam as profundidades de investigação, foram fixados em função do grau de detalhe exigido na pesquisa, obedecendo à relação:

$$\frac{AB}{5} \geq MN$$

Nas sondagens elétricas executadas, os espaçamentos utilizados entre os eletrodos de emissão de corrente (AB) e os eletrodos de recepção de potencial (MN) foram os seguintes:

- ✓ AB/2: 1,5-2,0-2,5-3,0-4,0-5,0-6,0-8,0-10,0-12,5-16,0-20,0-25,0-30,0-40,0-50,0-60,0-80,0-100,0-125,0-150,0-200,0-250,0-300,0-400,0-500,0-600,0-800,0-1.000,0-1.500,0 e 2.000,0 m.
- ✓ MN/2: 0,50-1,0-2,0-4,0-10,0-20,0-30,0-50,0-100,0 e 300,0 m.

Por meio da técnica de SEV, arranjo de campo Schlumberger, a resistividade aparente (ρ_a) foi obtida pela equação:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (\text{ohm.m}),$$

sendo:

$$K = \pi \frac{\overline{AM} \cdot \overline{AN}}{\overline{MN}}, \text{ onde:}$$

- ✧ ρ_a - resistividade aparente (ohm.m)
- ✧ K - coeficiente geométrico
- ✧ AB - espaçamento entre os eletrodos de emissão de corrente (m)
- ✧ MN - espaçamento entre os eletrodos de recepção de potencial (m)

2.3 INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Os valores de resistividade aparente medidos no local são lançados em gráfico bilogárítmico, onde a abscissa representa a meia distância entre os eletrodos A e B, e a ordenada os valores de resistividade aparente encontrados. Esta curva, após plotagem, é interpretada e as espessuras das camadas do solo/subsolo são determinadas (admite-se que cada camada seja gerada a partir de uma descontinuidade das propriedades físicas do solo, que geralmente reflete uma mudança litológica).

A interpretação da Sondagem Elétrica Vertical (SEV) pode ser realizada por meio de curvas padrões. Neste caso, utiliza-se um conjunto de curvas procurando manualmente quais os melhores ajustes, determinando-se assim a resistividade e a espessura de cada camada. Outra metodologia consiste na utilização de softwares que, a partir da curva obtida em campo, podem determinar os modelos que melhor se encaixam nos dados observados, sendo o melhor ajuste o modelo adotado (Figura 2.3).

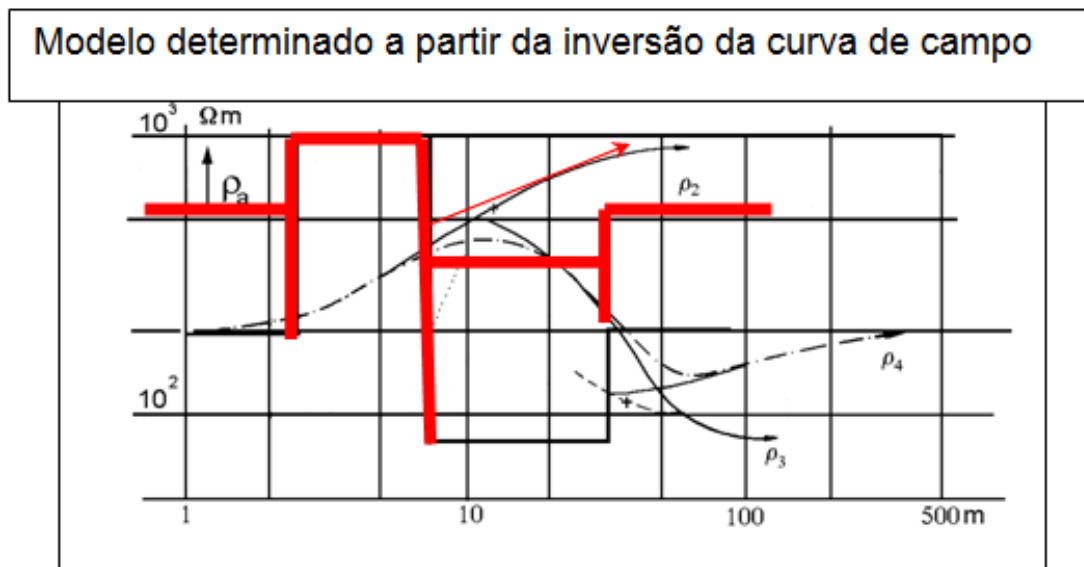


Figura 2.3 - Ilustração de método de interpretação de SEV.

Além do modelo assumido no melhor ajuste da curva, são determinados valores de espessura, profundidade e resistividade máximos e mínimos que a curva pode assumir, pois a solução obtida por meio de um modelo de inversão geofísica não é única.

Variações decorrentes da anisotropia da área de estudo podem ser consideradas e o melhor modelo para a área de estudo pode não ser o que possua um erro mais baixo.

Nos levantamentos de campo foi utilizado o resistivímetro SYSCAL PRO. Este equipamento possui a capacidade de discriminar ruídos indesejáveis, medindo somente o potencial relativo à corrente transmitida. Todo o processo de filtragem de ruídos e de cálculo dos resultados é executado por um microprocessador, cujos parâmetros são controlados pelo operador. Foram utilizados ainda os acessórios para os circuitos de emissão de corrente e recepção de potencial, tais como bobinas de AB, eletrodos, cabos de MN, etc.

3. GRAVIMETRIA

3.1 BASE TEÓRICA DO MÉTODO

A prospecção gravimétrica envolve medidas das variações do campo de gravidade terrestre que, por sua vez, são provocadas por diferenças de densidade entre as rochas sub-superficiais. Os estudos de subsuperfície baseiam-se na hipótese que diferentes distribuições de densidade abaixo da superfície provocam distorções (anomalias) no campo gravitacional normal que envolve a Terra. Uma vasta gama de situações geológicas pode estar na base da ocorrência de anomalias de massa que produzem anomalias gravimétricas (relevo do solo, intrusões de plutões, domos salinos, etc). A interpretação das anomalias gravimétricas permite tirar conclusões sobre a profundidade provável, a forma e a massa das unidades rochosas.

A base dos métodos gravimétricos é a lei de Newton da atração universal. Considere uma Terra esférica de raio R, homogênea de massa M e sem rotação. Em tais condições pode-se demonstrar que a massa da esfera atua como se estivesse toda concentrada no centro da esfera e a força F está relacionada com a massa M através da aceleração, enquanto o termo $g = GM/R^2$ é conhecido por aceleração da gravidade ou simplesmente gravidade.

Nesse modelo da Terra a gravidade seria constante. No entanto, a forma elipsoidal do planeta, seu movimento de rotação, relevo irregular da superfície e a própria distribuição interna de massa, fazem com que variações relativamente importantes da gravidade ocorram à sua superfície.

O campo gravitacional pode ser definido de uma maneira mais útil se for feito em termos de potencial gravimétrico U:

$$U = G M/R$$

Enquanto que o g é um vetor, o potencial U é só um escalar ($g = \delta U / \delta n$), conseqüentemente a aproximação do potencial fornece flexibilidade computacional.

As superfícies equipotenciais são definidas como aquelas em que o U é constante.

O valor médio de g é 9,80 m/s². As variações de gravidade provocadas por variações de densidade são da ordem de 100 $\mu\text{m/s}^2$ (1 $\mu\text{m/s}^2 = 1 \text{ gu}$, gravity unit).

A unidade usualmente empregada em Geodésia e Geofísica para representar a unidade de aceleração é o gal. O Quadro 3.1 mostra a equivalência entre o gal e m/s².

QUADRO 3.1 - EQUIVALÊNCIA DO GAL COM A UNIDADE REPRESENTATIVA DA ACELERAÇÃO NO SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

Nome	Símbolo	Equivalência
gal	Gal	10 ⁻² m·s ⁻²
miligal	mGal	10 ⁻⁵ m·s ⁻²
microgal	μGal	10 ⁻⁸ m·s ⁻²

O valor do módulo do vetor gravidade pode ser obtido através de determinações absolutas e relativas, utilizando equipamentos que permitam a medição de pequenos intervalos de tempo e distância, ou variações na força gravitacional. As determinações absolutas proporcionam diretamente o valor de “g” para uma estação, enquanto que as relativas exigem a ocupação de ao menos duas estações, permitindo a obtenção da diferença de gravidade entre as mesmas.

Para equivalência das grandezas determinadas ao Sistema Geodésico Brasileiro, a rede geodésica é estendida até a área de trabalho através da implantação de uma rede planialtimétrica e de uma rede gravimétrica complementar.

3.2 REDUÇÕES GRAVIMÉTRICAS

Nas aplicações da Gravimetria, os valores medidos da aceleração da gravidade (g) estão sujeitos a diferentes tipos de redução. Entende-se por redução do valor gravimétrico o conjunto de operações necessárias para que sejam obtidos os valores de “g” adequados à finalidade do trabalho. Exemplificando: a anomalia Bouguer, tão importante do ponto de vista geológico e geofísico, pouco significa se considerada isoladamente nas investigações sobre o geóide; enquanto as anomalias isostáticas, que podem interessar a geólogos, geofísicos e geodestas não apresentam interesse nos trabalhos de prospecção de natureza local.

Do ponto de vista geofísico, são necessárias algumas reduções em função dos objetivos. A definição adotada de anomalia da gravidade envolve o valor de “g” sobre a superfície do geóide, daí a clássica redução da gravidade ao nível do mar.

Para que se possa visualizar o problema na sua forma geral, a definição genérica de anomalia da gravidade pode ser descrita por:

$$\Delta g = g_0 - \gamma$$

O índice que aparece nesta expressão é para enfatizar que a gravidade real está associada a um ponto do geóide. A gravidade normal é obtida com a fórmula internacional, em função da latitude da estação.

Para reduzir a gravidade observada (na superfície física) ao nível médio dos mares (geóide), introduz-se a chamada correção ar-livre (CA). A anomalia resultante recebe o mesmo nome.

$$\Delta g_A = \Delta g + C_A$$

A remoção das massas topográficas ou massas externas é obtida com emprego, além da correção anterior, da chamada correção Bouguer (CB). A anomalia resultante é denominada anomalia Bouguer.

$$\Delta g_A = \Delta g + C_A + C_B$$

Quando se considera a maior parte da crosta em equilíbrio isostático deve-se usar, além das anteriores, a correção isostática (CI) para obtenção da anomalia isostática:

$$\Delta g_A = \Delta g + C_A + C_B + C_I$$

A correção ar-livre para uma estação gravimétrica com altitude ortométrica “h” pode ser expressa, em trabalhos rotineiros, como sendo o produto do gradiente normal pela altura “h” da estação, ou seja:

$$C_A = 0,3086 h$$

Expressando-se “h” em metros e CA em mGal, a anomalia ar livre pode ser calculada pela seguinte equação:

$$\Delta g_A = \Delta g + 0,3086 h$$

Convém observar que a medição relativa de “g” numa estação terrestre, utilizando um gravímetro, é uma operação simples que se conclui em poucos minutos com notável precisão. Mas a obtenção da anomalia ar-livre pressupõe a definição cartográfica da estaca (latitude para o cálculo da gravidade teórica com a fórmula internacional e altitude para o cálculo da correção ar-livre). Os gravímetros utilizados atualmente em levantamentos comuns têm uma precisão de 0,01 mGal, mas um erro de 0,31 mGal na anomalia ar-livre.

3.2.1 Cálculo da Anomalia Bouguer

A anomalia Bouguer considera a massa existente entre o geóide e a superfície física da Terra.

A remoção de uma massa topográfica pode ser descrita por:

$$\Delta g_b = \Delta g + 0,1967 h$$

Para a determinação da anomalia Bouguer são calculados os valores da gravidade nos pontos observados em cada circuito, corrigidos dos seguintes efeitos sistemáticos: tabela de calibração do gravímetro; maré luni-solar; deriva estática; deriva dinâmica e escala residual do gravímetro em relação ao datum gravimétrico. Para o cálculo dos valores da anomalia Bouguer devem ser incluídas as correções da gravidade normal, de ar livre, de Bouguer e do terreno. As correções de Bouguer e do terreno devem ser calculadas para o valor de densidade média estimada para o embasamento local (este valor deverá ser explicitado nas memórias de cálculo).

3.2.2 Cálculo da Anomalia Regional

A determinação do campo anômalo regional pode ser feita a partir da modelagem de superfície, cujo grau deve refletir a variação regional da anomalia Bouguer. Deve-se pesquisar a existência de dados de profundidade dos poços e outras informações adicionais que possam contribuir para definição dos parâmetros da modelagem do campo regional.

3.2.3 Cálculo da Anomalia Bouguer Residual

Uma vez determinada a anomalia regional, esta deve ser subtraída da anomalia Bouguer para a obtenção da anomalia Bouguer residual.

3.2.4 Modelagem Gravimétrica

A modelagem gravimétrica da área pesquisada deverá ser feita com base no campo anômalo residual, associado às evidências geológicas e geofísicas complementares sobre a estrutura e tectônica da bacia, e sobre a sua distribuição de densidade.

Evidências de profundidades indicadas por poços perfurados na área que atingiram a rocha do embasamento são particularmente importantes para este fim. A metodologia e os programas de processamento utilizados para as modelagens 3D e 2,5D devem ser claramente definidos.

3.2.5 O Gravímetro

O gravímetro utilizado no levantamento foi o CG-5 Autograv™, fabricado pela Scintrex, que apresenta precisão de leitura de 1 microGal e incerteza menor que 5 microGal, com deriva instrumental menor que 0,02 mGal/dia. O equipamento pode ser operado entre -40°C e +45°C, e pesa 8 kg. O gravímetro faz correções de maré, deriva instrumental e temperatura, além de aplicar filtro para ruídos. O gravímetro ainda possui uma estação de georreferenciamento por GPS.

O CG-5 Autograv™ encontra-se inserido na categoria de gravímetros diferenciais que são projetados para medir a diferença de aceleração de gravidade entre dois pontos.

Este equipamento consiste de um sistema massa-mola encapsulado em uma câmara de vácuo, onde a massa atua como uma parte de um transdutor. A alteração da posição da massa muda a propriedade do capacitor que ativa o circuito de realimentação para levar a massa à sua posição original. A corrente aplicada no sistema para balancear a massa é proporcional à variação de gravidade, sendo registrada pelo sistema que é composto por um microprocessador que nivela o equipamento, ajusta o circuito de realimentação e converte os valores de corrente em gravidade, armazenando-os no sistema.

3.2.6 Metodologia de Campo e Processamento dos Dados

Primeiramente, os valores de aceleração de gravidade são medidos em pontos determinados. O fechamento das linhas é realizado num mesmo ponto, dentro de 24 horas, para permitir o cálculo da deriva instrumental. Em cada ponto de medida será determinada a altitude ortométrica e as coordenadas precisas (por meio de um DGPS). Os dados armazenados são posteriormente tratados, juntamente com dados extraídos do banco de dados do IBGE.

A gravimetria deve ser executada com gravímetro geodésico, com intervalo de operação de pelo menos 6000 mGal, repetitividade de medida melhor do que 0,01 mGal e deriva menor do que 1 mGal por mês.

As posições dos pontos regularmente espaçados, de aproximadamente quatro quilômetros no terreno, devem ser estabelecidas com base na grade ideal, adaptada às facilidades de acesso e às características do relevo circunvizinho, visando minimizar o efeito da topografia sobre o valor da gravidade. O levantamento gravimétrico deve ser feito em circuitos fechados, tendo como pontos de partida e chegada duas estações gravimétricas complementares distintas.

Todos os circuitos gravimétricos deverão ser fechados no período máximo de 24 horas e nenhum deles deverá apresentar erro de fechamento superior a 0,1 mGal após a correção de maré.

4. SONDAGEM VERTICAL NO DOMÍNIO DO TEMPO

4.1 BASE TEÓRICA DO MÉTODO

Os métodos eletromagnéticos envolvem a propagação de campos eletromagnéticos de baixa frequência e baseiam-se nos fenômenos físicos de eletricidade e magnetismo. Quando uma corrente elétrica passa por um fio é gerado um campo magnético nas vizinhanças desse fio. Conseqüentemente, quando se estabelece uma corrente AC, por exemplo, num fio colocado sobre a superfície do terreno, fluem correntes elétricas nos condutores subsuperficiais. Esse processo, conhecido como indução eletromagnética, é representado na Figura 4.1 com as seguintes etapas:

- ✓ A corrente AC fluindo na bobina cria um campo eletromagnético primário nas proximidades da bobina;
- ✓ O campo magnético primário causa o fluxo de correntes secundárias (*eddy currents*) em qualquer condutor presente;
- ✓ As correntes secundárias, ao fluírem pelo condutor, criam um novo campo, o campo magnético secundário que traz consigo informações sobre o condutor;
- ✓ O campo secundário altera o primário e, como consequência, é gerado um campo resultante que nada mais é do que uma composição do primário com o secundário. O campo resultante, assim como o secundário, traz informações sobre o corpo condutor.

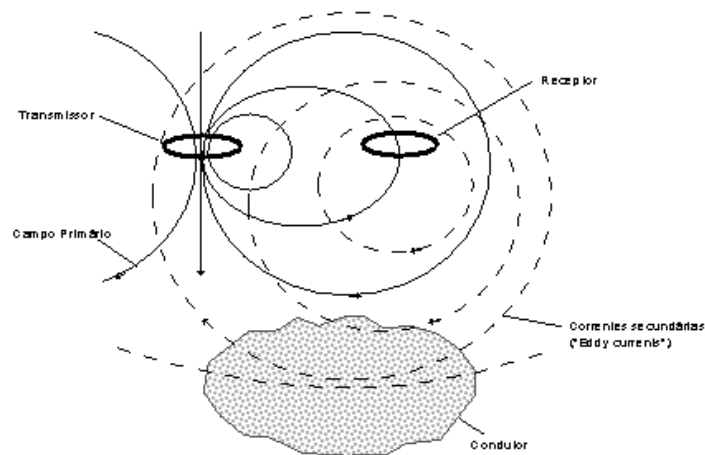


Figura 4.1 – Princípio da indução eletromagnética

Os equipamentos EM contam com um sistema de transmissão e outro de recepção, que serão tratados a seguir.

- ✓ Do sistema de transmissão faz parte um gerador-alternador ou um oscilador transistorizado. Alguns equipamentos trabalham em mais de uma frequência (em geral, são duas), o que é muito vantajoso, pois permite a distinção entre condutores subaflorantes daqueles mais profundos. Ligada à fonte de alimentação existe uma bobina ou um cabo longo aterrado. As bobinas podem ter núcleo de ar ou de ferrite.

- ✓ Do sistema de recepção faz parte outra bobina, inteiramente portátil, composta de muitas espiras de fio fino, que pode ter núcleo de ar ou de ferrite e cujo sinal segue para um amplificador. Essa bobina é sintonizada na frequência da fonte.

Existem vários métodos EM classificados de acordo com o parâmetro que é determinado pelo equipamento: métodos que medem a inclinação do campo resultante; métodos que medem as componentes do campo; e métodos que medem diretamente a condutividade ou resistividade elétrica. Nesse último grupo estão os métodos mais utilizados atualmente - o Eletromagnético Indutivo e Eletromagnético Domínio do Tempo. O Eletromagnético Indutivo caracteriza-se pelo uso de equipamentos de operação muito simples e rápida, fatores que explicam sua extensa aplicação.

A diferença fundamental entre o método eletromagnético no domínio do tempo (Time-domain electromagnetics - TDEM ou Transient Electromagnetics - TEM) em relação aos outros é o fato dos demais métodos operarem no domínio da frequência. Nesse tipo de equipamento, uma bobina de transmissão (cujas dimensões dependerão da profundidade de investigação) é acionada com uma corrente alternada, que estabelece um campo magnético estático no terreno.

Quando a corrente é rapidamente cortada, o campo primário é extinto e a força eletromotriz induzida no terreno causa um fluxo de correntes secundárias no solo e nas proximidades de condutores subsuperficiais. Essas correntes decaem com o tempo, mostrando um decaimento do campo magnético na superfície, que é gerado durante o período em que o campo primário está cortado (Figura 4.2). O campo gerado a partir do fluxo de correntes induzidas pode ser medido facilmente para detectar corpos condutores ou medir a condutividade do terreno.

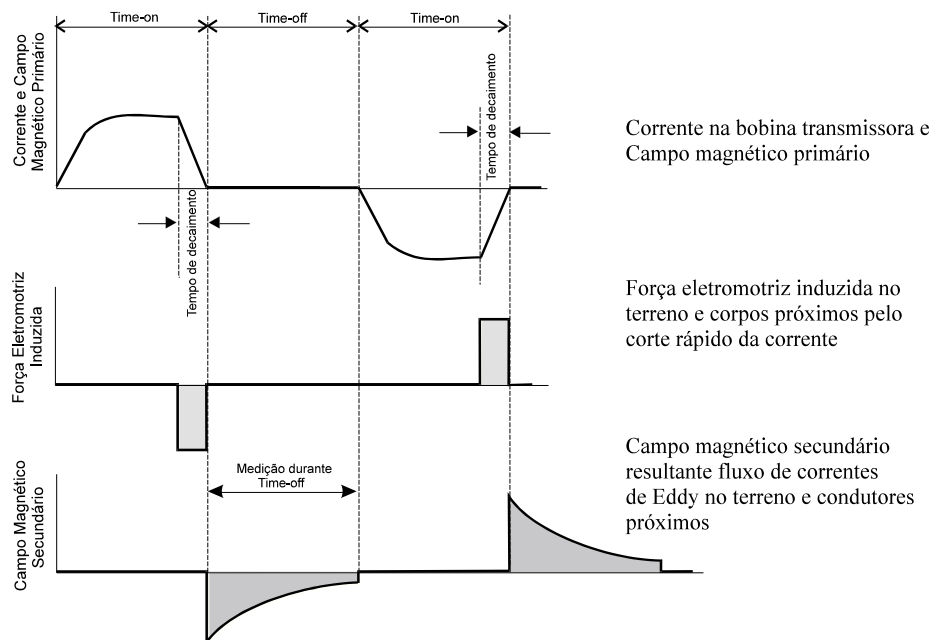


Figura 4.2 – Formas de ondas dos campos gerados no método eletromagnético domínio do tempo.

De acordo com McNeil (1990), são utilizados basicamente dois arranjos de campo: o primeiro é denominado Slingram ou “loop-loop”, onde duas pequenas bobinas (transmissora e receptora) são movidas juntas na linha de ensaio, tal como no método eletromagnético

indutivo. O segundo arranjo é o modo central loop de sondagem, em que a bobina de recepção fica posicionada no centro de um loop quadrado estendido no terreno. Essas duas configurações de campo para sistemas EM domínio do tempo são mostradas na Figura 4.3.

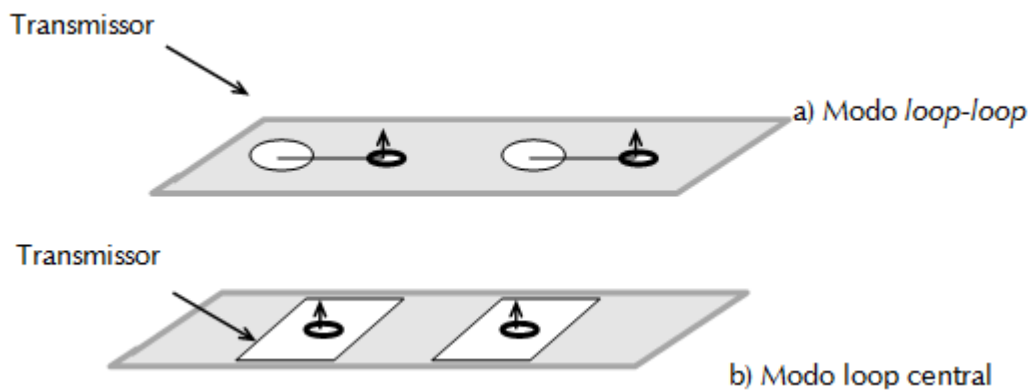


Figura 4.3 – Arranjos transmissor-receptor mais utilizados.

4.2 METODOLOGIA DE CAMPO

O equipamento utilizado neste levantamento foi o PROTEM, fabricado pela Geonics Limited.

O sistema é composto por uma bobina receptora, uma unidade de armazenamento de dados que permite configurar a aquisição, um transmissor ligado e uma unidade de potência que é conectada a um gerador capaz de aplicar correntes de até 25A. A metodologia aplicada usou um loop com área de 160.000m² e a frequência aplicada variou de 0,3 a 75 Hz.

5. RESULTADOS

Neste item, são apresentados os produtos gerados a partir da interpretação dos distintos métodos geofísicos utilizados.

5.1 MÉTODO DA ELETRORRESISTIVIDADE

Os levantamentos geofísicos pelo método de eletrorresistividade com utilização da técnica de Sondagem Elétrica Vertical (SEV) (Figura 5.1) tiveram como objetivo inicial determinar a distribuição espacial do SAU, sua espessura, suas diferentes fácies e a profundidade do nível de água do aquífero.



Figura 5.1 – Fotos ilustrando o levantamento geofísico por meio da técnica de sondagem elétrica vertical.

Os locais de execução das SEVs foram escolhidos de maneira a distribuí-las uniformemente em toda a área estudada, respeitando as limitações topográficas e a urbanização. O mapa da Figura 5.2 apresenta a distribuição das 149 SEVs executadas e modeladas. As SEVs numeradas de 71 a 83 foram executadas em manchas isoladas entre a porção modelada da sub-bacia Urucuia e a porção modelada da sub-bacia Abaeté.

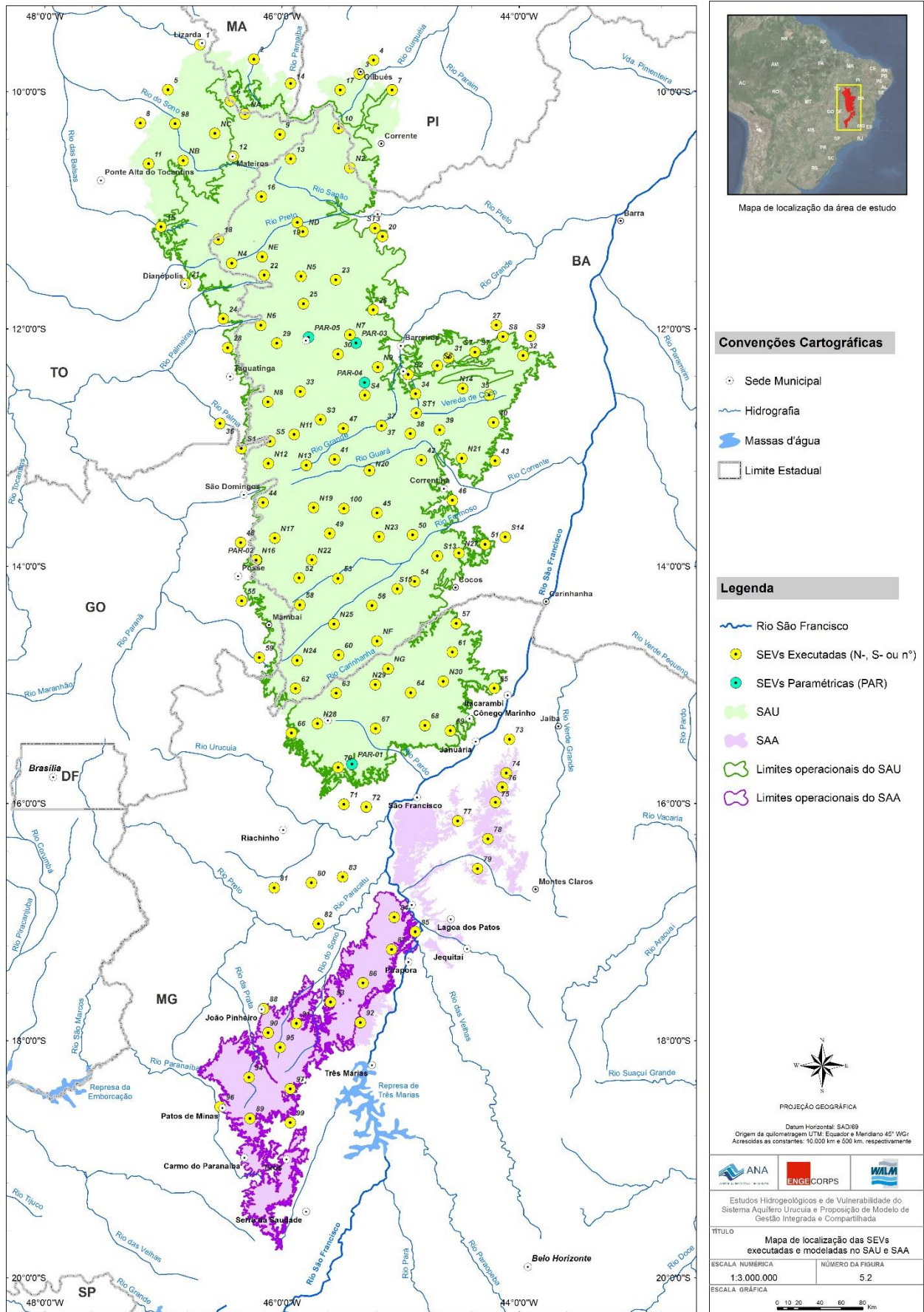


Figura 5.2 - Mapa de localização das SEVs executadas e modeladas no SAU e no SAA.

As SEVs foram executadas com arranjo Schlumberger, com espaçamento máximo de AB/2 de 2000 m, com exceção da SEV-99 que teve um espaçamento máximo de AB/2 de 1000 m, o que permitiu investigar uma profundidade teórica máxima de aproximadamente 700 m e 300 m, respectivamente. Na prática, esta profundidade depende do contraste entre as resistividades das camadas geoeletricas.

O Anexo I relaciona as SEVs executadas e modeladas, suas coordenadas e altitudes. Os dados de campo estão apresentados no Anexo II.

As interpretações das SEVs foram apoiadas no modelo geoeletrico definido, em informações de geologia de superfície e em dados de poços profundos.

5.1.1 Eletrofácies do Sistema Aquífero Urucuia

De maneira geral, a análise morfológica das curvas das SEVs obtidas em campo permitiu identificar duas eletrofácies principais:

- ✓ Valores de resistividade altos, típicos de sedimentos predominantemente arenosos, associados ao Grupo Urucuia;
- ✓ Valores extremamente altos, associados ao Grupo Bambuí e ao embasamento constituído por rochas gnáissicas ou calcárias.

No Grupo Urucuia é possível identificar dois estratos principais, com ampla variação de resistividade de um local para outro. Devido a essa variação na área de estudo, esses estratos foram divididos em duas zonas:

- ✓ Não saturada, referindo-se à porção localizada acima do nível d'água do aquífero Urucuia;
- ✓ Saturada, referindo-se à porção localizada abaixo do nível d'água, em que o substrato encontra-se totalmente saturado.

Para a zona não saturada (sedimentos superficiais), os valores de resistividade obtidos apresentam uma ampla gama de variação (32,95 a 569.855 ohm.m). Os valores inferiores a 100 ohm.m, identificados nessa zona, provavelmente estão relacionados aos sedimentos argilosos do Grupo Urucuia, ou a sedimentos arenosos inconsolidados saturados devido à infiltração de água por precipitação, pois esses valores de resistividade, na maioria das SEVs, ocorrem nos estratos geoeletricos superficiais, ou seja, em profundidades inferiores a 2 m. Já os valores superiores a 40.000,00 ohm.m correspondem, provavelmente, aos níveis conglomeráticos e/ou arenosos silicificados, comumente presentes no Grupo Urucuia.

Para a zona saturada do Grupo Urucuia, os diferentes níveis geoeletricos obtidos foram agrupados em termos de litologia. A partir da correlação dos níveis geoeletricos com a geologia local foram identificadas as seguintes eletrofácies:

- ✓ Predominantemente silto-argilosas;

- ✓ Predominantemente areno-siltosas;
- ✓ Predominantemente arenosas.

Com relação ao embasamento, as resistividades variaram de 26,50 ohm.m a 858.836,00 ohm.m. Valores de resistividade inferiores a 170 ohm.m estão relacionados, provavelmente, às rochas do Subgrupo Paraopeba, que é constituído por ardósias, argilitos, folhelhos e margas. As SEVs que apresentaram tais resistividades estão localizadas na porção sul da área de estudo: SEVs 57, 67, 68, 75, 76, 77, 78, 79, 81, 87, 91 e 95, (Figura 5.3). A SEV 37, localizada na porção central da Bahia e a SEV-S7, localizada a Nordeste da SEV-37, também mostraram resultados similares.

Valores de resistividade superiores a 170 ohm.m podem ser correlacionados aos metassedimentos do Grupo Bambuí, incluindo margas e filitos com diferentes intensidades de alteração, e os superiores a 100.000 ohm.m podem estar relacionados ao embasamento constituído por calcários, quartzitos e por rochas gnáissicas.

As SEVs 26, 27, 48, 55, 59, 73, 94 e 97 foram executas fora da área de ocorrência do Grupo Urucuia. Segundo mapa geológico (CPRM, 2005), no local onde foram executas essas SEVs ocorrem coberturas detrito-lateríticas ferruginosas, calcários, metapelitos, calcarenitos, siltitos, arcóseos, argilitos, dolomitos, folhelhos e tufo lapelíticos.

Dos modelos geoeletricos foram obtidos: níveis d'água (m), resistividades dos níveis geoeletricos interpretados (ohm.m) associados à litologia provável do local estudado (eletrofácies), espessuras das camadas (m), profundidades e cotas dos topos dos estratos (m).

O Anexo III apresenta os modelos geoeletricos obtidos após a inversão dos dados de resistividade aparente e o Anexo IV apresenta as curvas modeladas no software ResixIP. O Quadro 5.1 apresenta o modelo geoeletrico final alcançado pela associação de dados de resistividade e de geologia local.

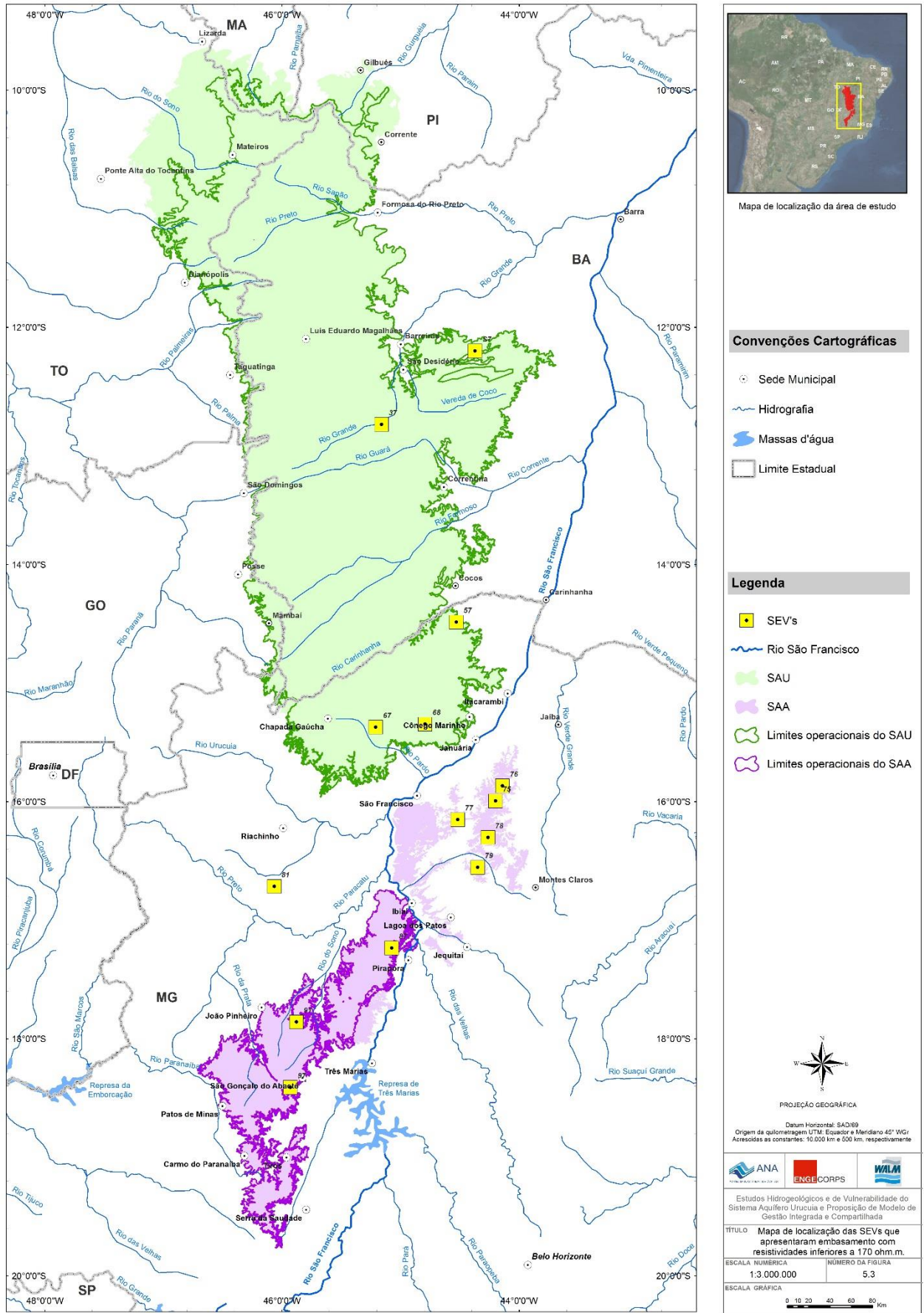


Figura 5.3 - Mapa de localização das SEVs que apresentaram embasamento com resistividades inferiores a 170 ohm.m.

QUADRO 5.1 - MODELO GEOELÉTRICO FINAL

<i>Zona</i>	<i>Eletrofácies</i>	<i>Resistividade (ohm.m)</i>
Não Saturada	Sedimentos Superficiais	32,95 a 569.855
Saturada	Silto-Argilosa	36 a 130
	Areno-Siltosa	130 a 300
	Arenosa	$\rho > 300$
	Ardósia, Argilito, Folhelho, Marga (Subgrupo Paraobeba)	$\rho < 170$
Embasamento	Metassedimentos (Grupo Bambuí)	$\rho > 170$
	Rocha Gnáissica/Calcário/Quartzito	$\rho > 100.000,00$

5.1.2 Correlação dos Ensaios Geofísicos - SEV

O procedimento adotado para minimizar as ambiguidades verificadas nas eletrofácies descritas no Quadro 5.1 foi o de parametrização, procedimento que permite adicionar e fixar informações durante a inversão dos dados das SEVs, tais como profundidades de camadas com litologias distintas.

Para tanto, foram realizadas sondagens elétricas ao lado de cinco poços previamente selecionados, cujos relatórios de perfuração continham descrições de amostras de calha recuperadas durante as perfurações desses poços. Também foram utilizados dados obtidos em perfilagens, quando disponíveis, como no caso de poço localizado no Distrito de Perdizes, município de São Desidério (BA).

A associação entre SEVs e poços existentes (SEVs 31, 32, 41, 63, 71, 75 e 96 associadas, respectivamente, aos poços cadastrados no projeto com os códigos 1-1165, 1-5450, 2900013549, CH GAUCH, 3100016501, 3100019591 e 04747/2007) não permitiu correlação efetiva, uma vez que os perfis desses poços descrevem de modo pouco esclarecedor sequências predominantemente arenosas, às quais não se intercalam litologias com contraste de resistividade significativa. Essa mesma situação foi observada nas paramétricas PAR-01, PAR-02, PAR-03 e PAR-05, realizadas ao lado dos poços de Serra das Araras (Chapada Gaúcha), Rosário (Correntina), Fazenda Vitória (Barreiras) e LEM (Luís Eduardo Magalhães), respectivamente. Portanto, as descrições dos poços foram consultadas, mas não permitiram uma correlação efetiva com os contrastes de resistividades (Figuras 5.4 a 5.9).

Ao lado dos poços de Rosário, Barreiras e São Desidério também foram executadas sondagens TDEM, pois essas áreas não apresentaram limitações para execução dessa técnica.

A PAR-01 realizada no município de Chapada Gaúcha foi modelada com uma profundidade aproximada de 61,50 m para o topo do embasamento. O modelo adotado para esta localidade possui seis estratos geoeletricos e há correlação entre os estratos geoeletricos 1, 2, 3 e a descrição de camadas arenosas até a profundidade de 14 m. A amostra de calha descrita como arenito fino, duro e resistente quanto à perfuração, entre 80 m e 116 m de profundidade,

provavelmente corresponde ao contato com o embasamento, constituído por metassedimento do Grupo Bambuí (Figura 5.4). A paramétrica de TDEM não foi executada nessa área devido a limitações inerentes a essa técnica.

A PAR-02 realizada no município de Correntina, no Distrito de Rosário, foi modelada com uma profundidade aproximada de 248,50 m para o topo do embasamento. O modelo adotado para esta localidade possui seis estratos geoeletricos. As amostras de calha em todo o perfil são descritas como arenito variando de fino a médio. Já o modelo geoeletrico identifica contrastes de resistividades na zona não saturada, sendo possível distinguir um nível geoeletrico com alto valor de resistividade (82.401,75 ohm.m), que foi associado a níveis conglomeráticos/silicificados (Figura 5.5). O modelo da sondagem TDEM não possui correlação com os dados de SEV, pois revela um nível com valor elevado de resistividade somente a uma profundidade superior de 676 m. A camada correspondente ao contato do embasamento não foi mapeada. Tal fato ocorreu devido aos parâmetros adotados na aquisição dos dados de TDEM, que consideraram frequências baixas de modo a favorecer a investigação de profundidades maiores, mas que reduziram o contraste na identificação de estratos com propriedades físicas distintas. (Figura 5.6).

A PAR-03 realizada no município de Barreiras, na Fazenda Vitória, foi modelada com uma profundidade aproximada de 175,60 m para o topo do embasamento. O modelo adotado para esta localidade possui sete estratos geoeletricos e há correlação entre os níveis geoeletricos 1, 2, 3, 4, 5 e 6 com a descrição das amostras de calha. Os níveis geoeletricos 5 e 6 descritos como sedimentos silto-argiloso e areno-siltoso, respectivamente correspondem a descrição das amostras de calha entre 104 m e 156 m de profundidade (arenito de coloração vermelha com níveis muito finos, bem arredondado e medianamente selecionado, com níveis argilosos). O contato dos sedimentos do Urucuia com os metassedimentos do Grupo Bambuí que foi determinado por meio do contraste de resistividade juntamente com os dados da geologia local não foi identificado no perfil do poço (Figura 5.7). O modelo da sondagem TDEM não possui correlação com os dados da SEV, pois revela um nível com valor elevado de resistividade somente a uma profundidade superior de 568 m. A camada correspondente ao contato do embasamento não foi mapeada. Tal fato ocorreu devido aos parâmetros adotados na aquisição dos dados de TDEM, que consideraram frequências baixas de modo a favorecer a investigação de profundidades maiores, mas que reduziram o contraste na identificação de estratos com propriedades físicas distintas (Figura 5.8).

A PAR-05 realizada no município de Luís Eduardo Magalhães, Jardim das Acácias, foi modelada com uma profundidade aproximada de 251,00 m para o topo do embasamento. O modelo adotado para esta localidade possui seis estratos geoeletricos e há correlação entre os níveis geoeletricos 1, 2, 3, 4, 5 com a descrição das amostras de calha. O contato dos sedimentos do Urucuia com os metassedimentos do Grupo Bambuí que foi determinado por meio do contraste de resistividade não foi identificado no perfil do poço (Figura 5.9). A paramétrica de TDEM não foi executada nessa área devido a limitações inerentes a essa técnica.

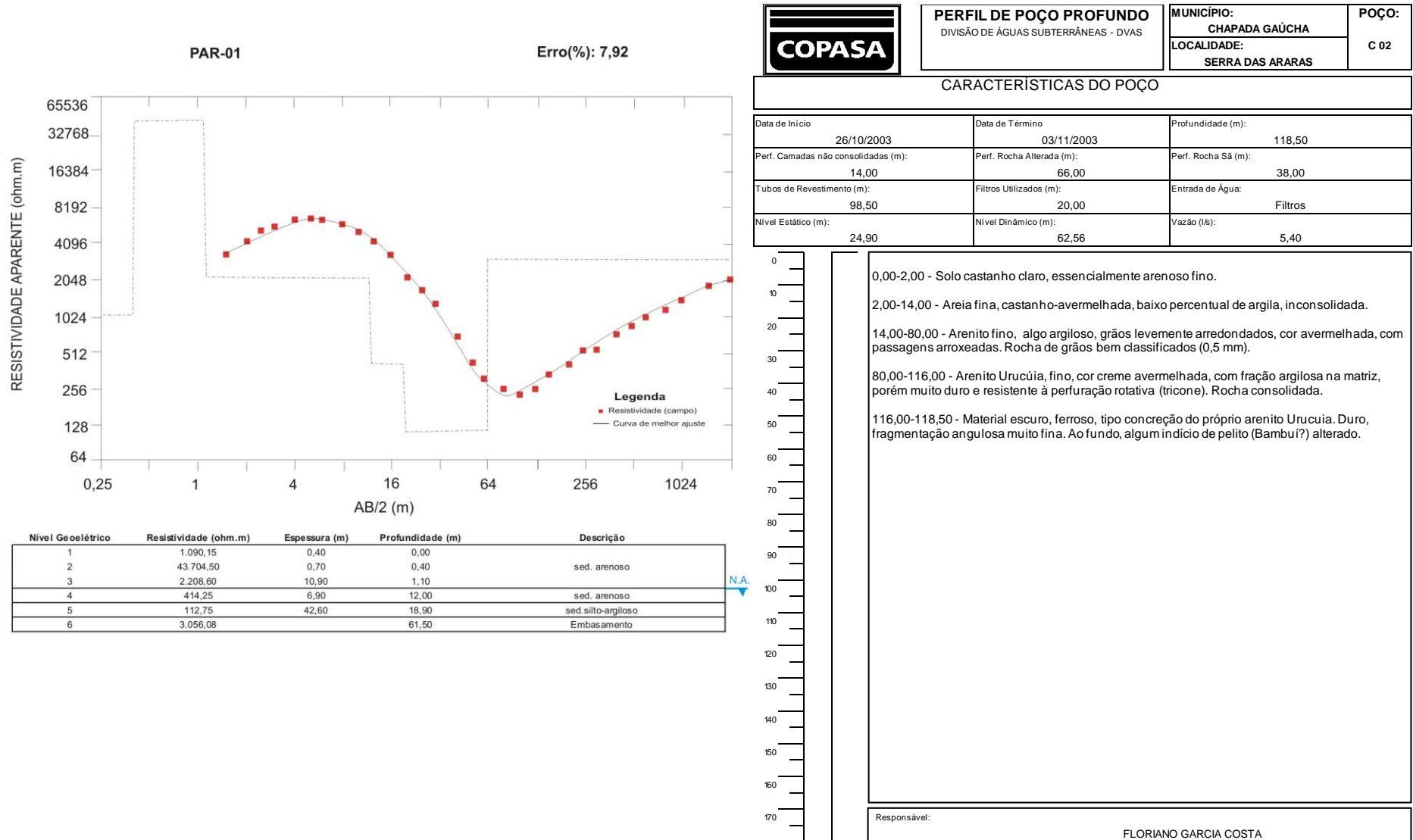
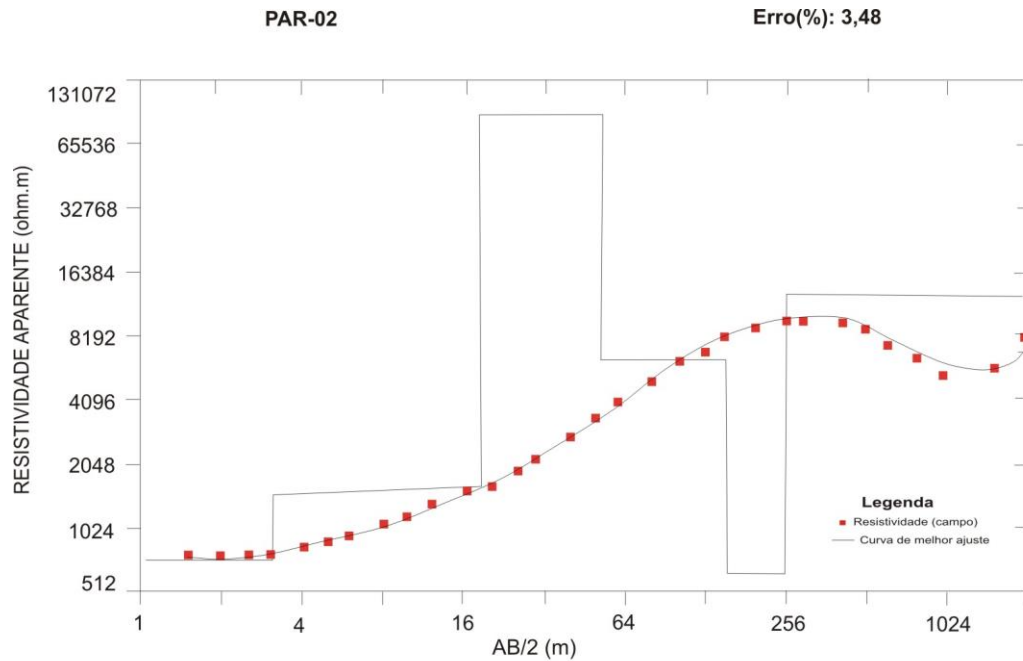


Figura 5.4 – Modelo geoeletrico da SEV - PAR-01 e perfil descritivo do poço localizado no município de Chapada Gaúcha – Serra das Araras.



Nível Geolétrico	Resistividade (ohm.m)	Espessura (m)	Profundidade (m)	Descrição
1	744,85	3,10	0,00	sed. arenoso
2	1.579,30	15,20	3,10	
3	82.401,75	33,60	18,30	sed. arenoso/níveis conglomeráticos/silicificados
4	6.039,45	101,05	51,90	sed. arenoso
5	642,90	95,55	152,95	sed.arenoso
6	13.091,36		248,50	Embasamento

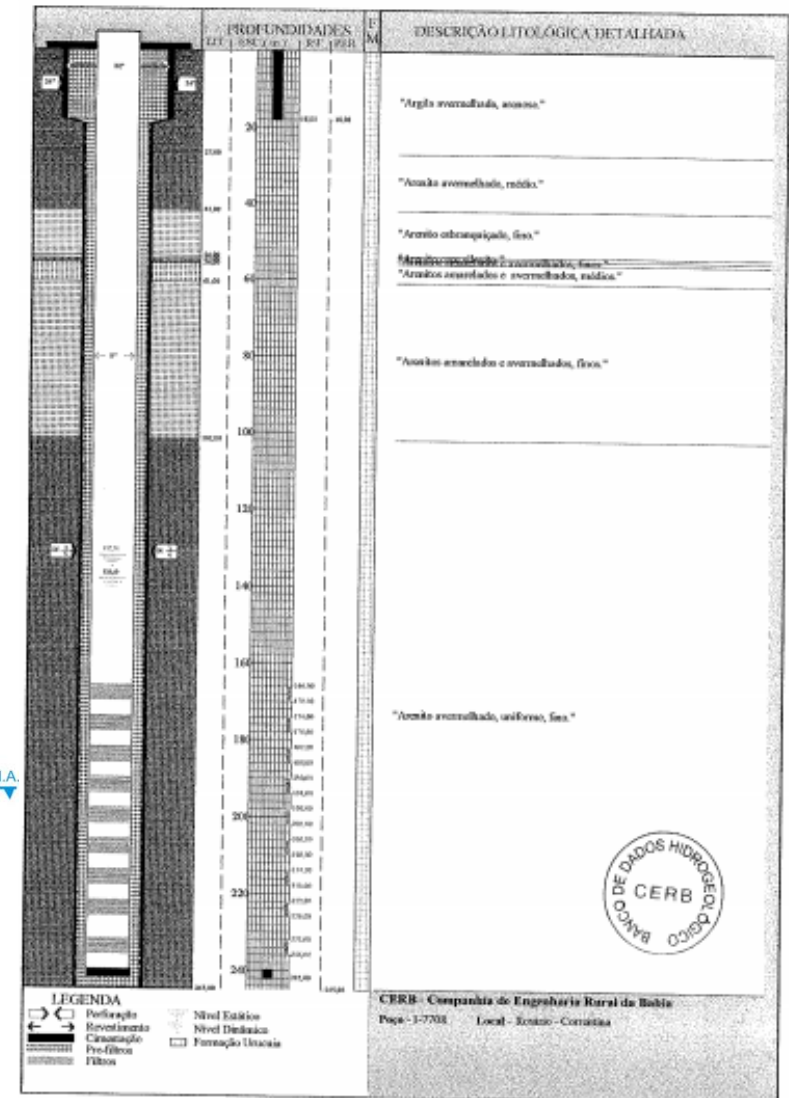


Figura 5.5 – Modelo geolétrico da SEV - PAR-02 e perfil descritivo do poço localizado no município de Correntina – Distrito de Rosário.

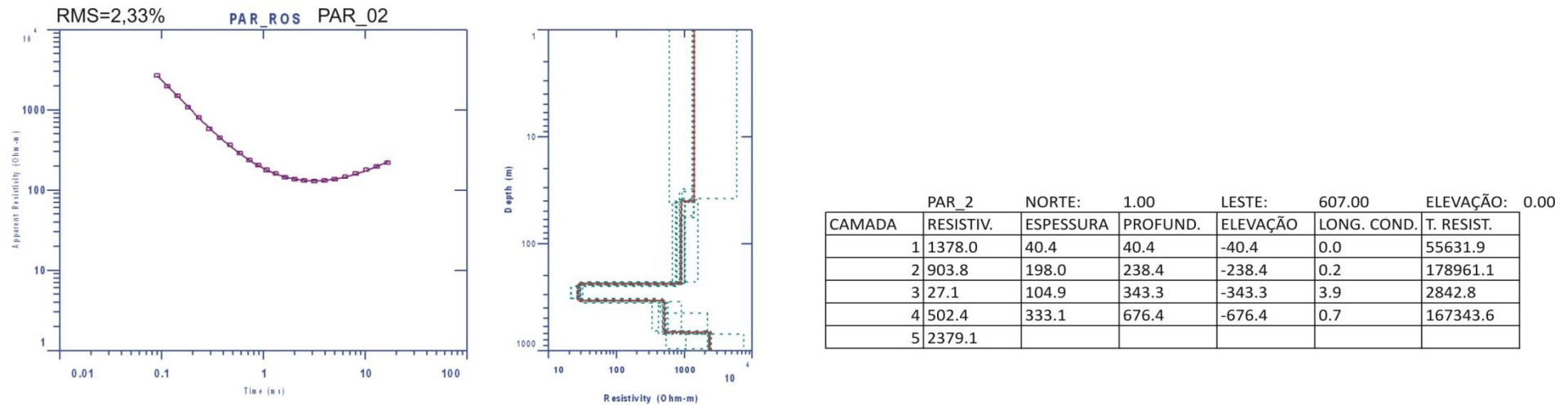


Figura 5.6 – PAR-02 – TDEM localizado no município de Correntina – Distrito de Rosário.

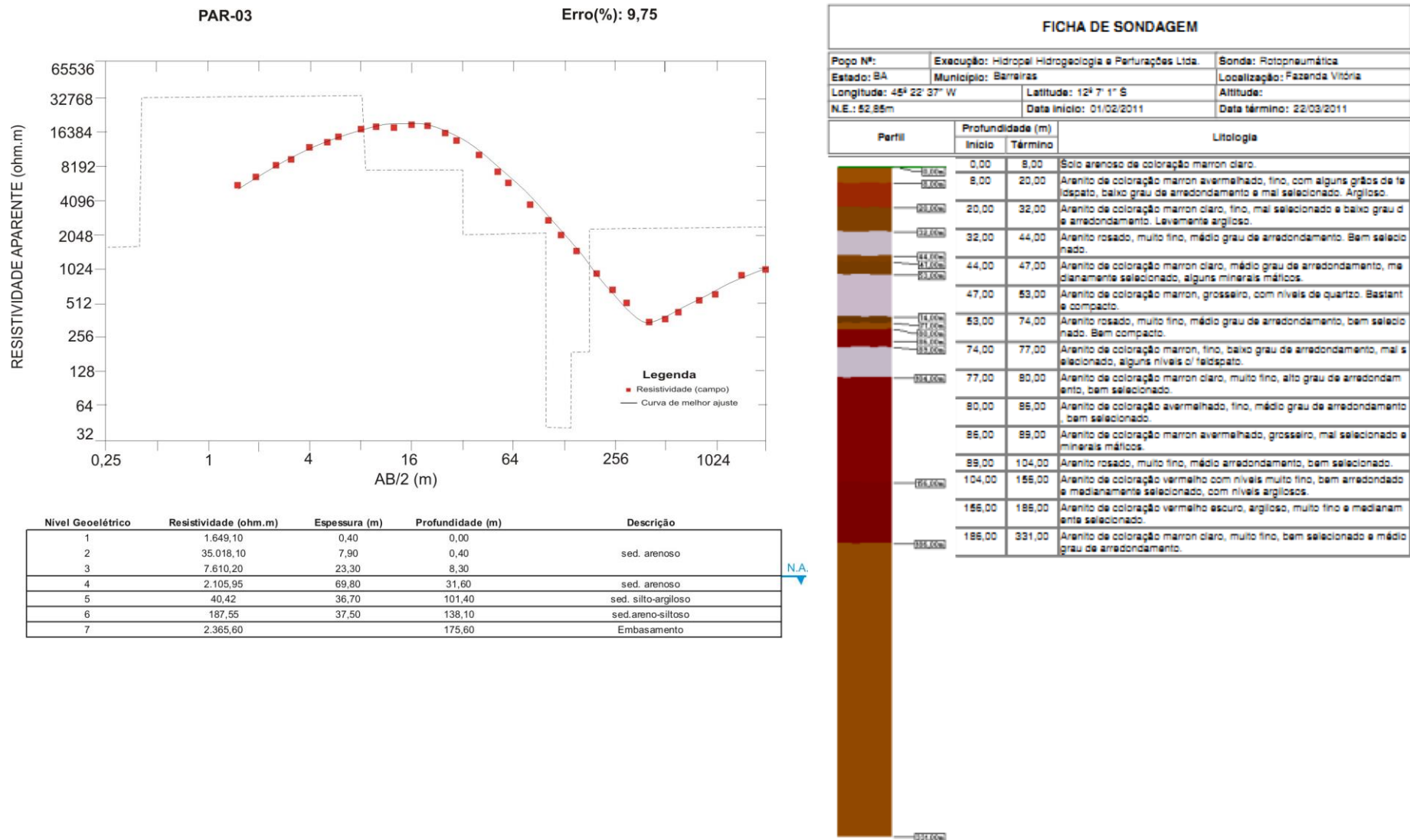
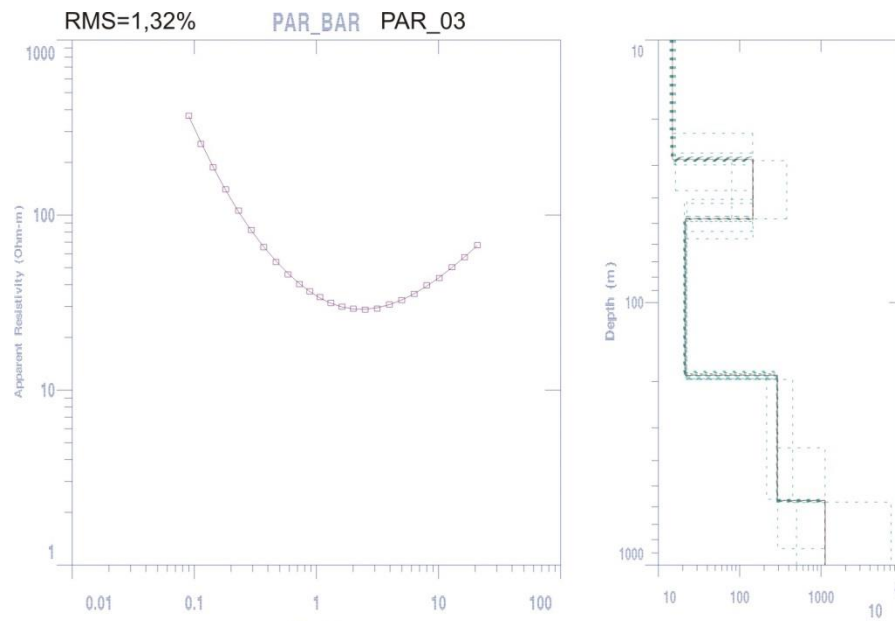


Figura 5.7 – Modelo geoeétrico da SEV - PAR-03 e perfil descritivo do poço localizado no município de Barreiras – Fazenda Vitória.



PAR_3 NORTE: 0.00 LESTE: 10 0103.00 ELEVACÃO: 0.00

CAMADA	RESISTIV.	ESPESSURA	PROF.	ELEVACÃO	COND.LONG.	T. RESIST.
1	14.9	28.5	28.5	-28.5	1.9	424.6
2	145.1	19.5	48.0	-48.0	0.1	2826.1
3	21.4	141.7	189.6	-189.6	6.6	3030.2
4	289.6	379.2	568.8	-568.8	1.3	109832.9
5	1121.1					

Figura 5.8 – PAR-03 – TDEM localizado no município de Barreiras – Fazenda Vitória.

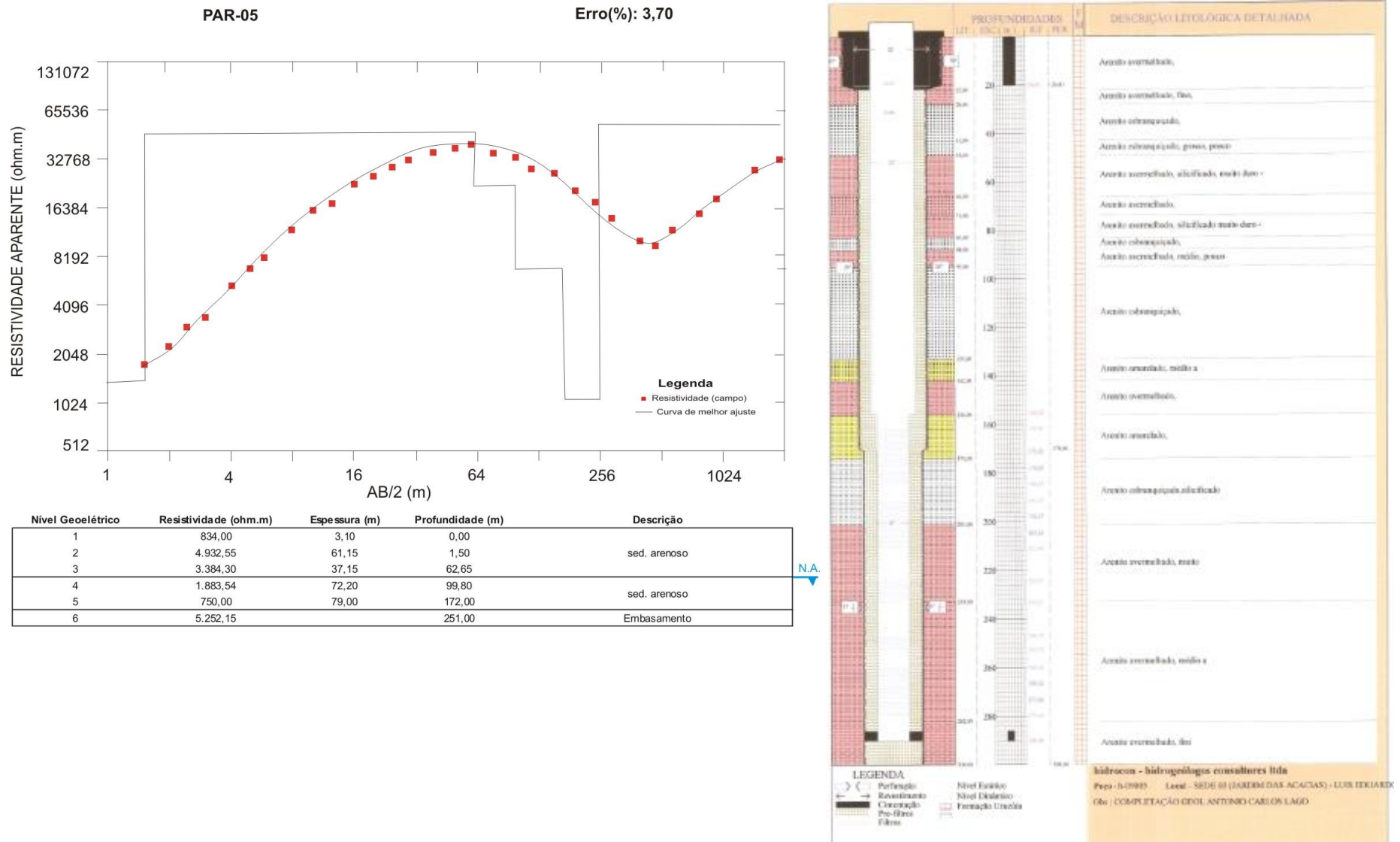


Figura 5.9 – Modelo geolétrico da SEV - PAR-05 e perfil descritivo do poço localizado no município de Luís Eduardo Magalhães – Jd. Das Acácias.

As SEVs interpretadas com apoio de informações geológicas indicaram a presença de rochas que poderiam ser relacionadas ao embasamento, em locais onde as descrições litológicas de poços não confirmavam sua ocorrência. Uma das explicações aventadas para as respostas geoeletricas distintas das SEVs consistiu na presença de metassedimentos do embasamento que poderiam ter sido considerados, nas descrições de poços, como sedimentos do Grupo Urucuia.

Mesmo devido à caracterização imprecisa dos estratos geológicos, definida por meio de amostras de calha a parametrização foi realizada como ilustram as Figuras de 5.4 a 5.9.

Também foi realizada uma parametrização com base em perfilagem geofísica do poço de Perdizes (São Desidério, BA) (Figura 5.10). A perfilagem apesar de ser considerado um método indireto de investigação, possui precisão acurada quanto à definição das profundidades dos estratos com respostas geoeletricas distintas quando comparado à definição de profundidades dos estratos definidas por meio da descrição de amostras de calha.

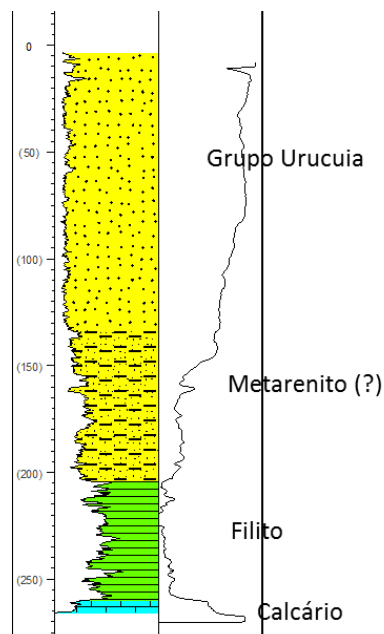
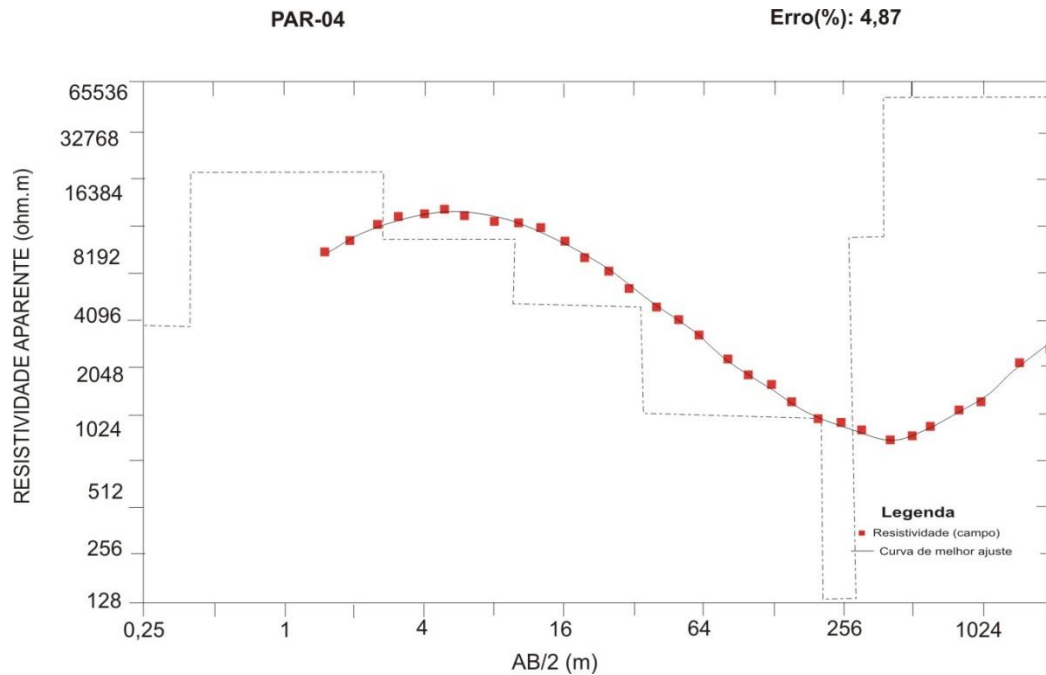


Figura 5.10 – Perfil geofísico do poço de Perdizes.

Com base nos dados da perfilagem do poço de Perdizes, que foram interpretados segundo dados da geologia local e descrição de afloramentos, nota-se elevação de teores de argila a 200 m de profundidade e a redução nos valores de resistividade na PAR-04 na profundidade de aproximadamente 215 m, relacionados ao embasamento constituído por filitos. A 279 m de profundidade na PAR-04, os valores de resistividade aumentam indicando a presença de rochas calcárias do Grupo Bambuí. A Figura 5.11 apresenta o modelo geoeletrico para a PAR-04. A redução nos valores de resistividade também foi observada nos dados da sondagem TDEM a uma profundidade de 218,7 m, porém a correlação com as rochas do Grupo Bambuí não foi possível, pois os dados da sondagem TDEM revelam aumento de resistividade a uma profundidade superior de 521 m (Figura 5.12).

Vale ressaltar que a configuração adotada para essa paramétrica não foi generalizada para todo aquífero, pois essa camada condutiva (com valores de resistividade inferiores a 130 ohm.m) não foi identificada em todas as SEVs.



SEV: PAR-04		Cota: 691,000			
Nível	ρ (ohm.m)	Espessura (m)	Prof. ao Topo (m)	Cota do Topo (m)	Descrição do material
1	3.452,00	0,40	0,00	691,00	sed. arenoso
2	22.078,00	2,30	0,40	690,60	
3	9.851,80	7,15	2,70	688,30	
4	4.478,90	25,15	9,85	681,15	
5	1.198,00	180,00	35,00	656,00	sed. arenoso
6	129,30	64,00	215,00	476,00	Embasamento/argila
7	10.477,00	88,20	279,00	412,00	Embasamento
8	53.175,00	Ind	367,20	323,80	
NA = 35,00					

Figura 5.11 – Curva modelada e modelo geológico da PAR – 04.

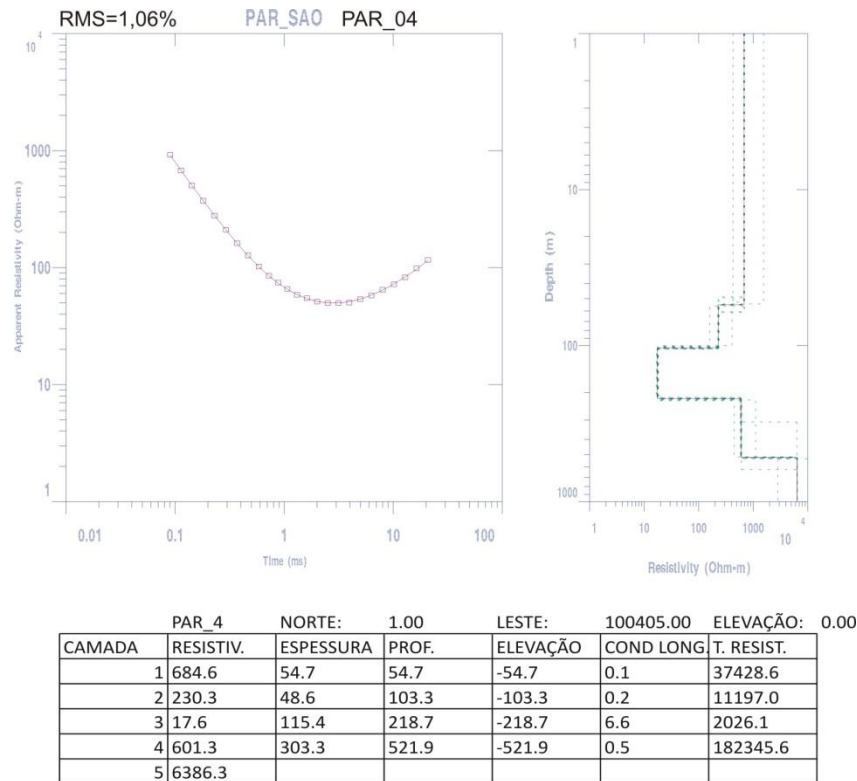


Figura 5.12 – PAR-04 – TDEM localizado no município de São Desidério – Perdizes

5.1.3 Nível da Água Subterrânea e Espessura do SAU e SAA

Das 149 SEVs modeladas, 120 permitiram a obtenção de dados relativos à profundidade do nível de água, espessura e cota do embasamento (Quadro 5.2). Destas, 89 localizam-se nos limites operacionais da sub-bacia Urucuia e 12 nos limites operacionais da sub-bacia Abaeté, definidos neste projeto.

De acordo com os resultados das interpretações das SEVs, a profundidade do nível de água subterrânea do SAU na sub-bacia Urucuia variou entre 2,1 m e 159,8 m. As maiores profundidades de nível de água foram constatadas, principalmente, na porção oeste na sub-bacia Urucuia. Na sub-bacia Abaeté, as profundidades do nível de água do SAA variaram entre 3,3 m a 28 m.

Com relação à espessura do SAU na sub-bacia Urucuia (Figura 5.13), observa-se variação entre 15 m (porção leste da área) e 317 m (porção noroeste da área). As maiores espessuras (acima de 270 m) encontram-se na porção norte e nordeste da sub-bacia Urucuia. As espessuras entre 200 e 250 m encontram-se na porção sudoeste da sub-bacia Urucuia. As espessuras inferiores a 50 m ocorrem praticamente em todo o limite leste da sub-bacia Urucuia.

A Figura 5.14 mostra a localização de três seções geoeletricas elaboradas com dados geofisicos de SEVs na sub-bacia Urucuia, ilustradas nas Figuras 5.15 a 5.18. Na seção AB (Figura 5.15) a espessura máxima dos níveis conglomeráticos/silicificados é de 38,85 m (SEV-30).

Na seção CD (Figura 5.16) a espessura máxima dos níveis conglomeráticos/silicificados é de 2,00 m (SEV-41).

Na seção EF (Figura 5.17) a espessura máxima dos níveis conglomeráticos/silicificados é de 23,20 m (SEV-63).

Na seção GH (Figura 5.18) a espessura máxima dos níveis conglomeráticos/silicificados é de 47,26 m (SEV-23). Vale lembrar que nessa SEV esse nível geoeletrico também pode correlacionar-se a sedimentos arenosos. Os intervalos de valores de resistividade correlacionados ao embasamento nessa região não diferem quanto aos intervalos de resistividade do restante da sub-bacia do Urucuia, porém nessa região segundo levantamento geológico encontram-se rochas da Bacia do Parnaíba.

Com relação à espessura do SAA na sub-bacia Abaeté (Figura 5.19), observa-se variação de 20,2 m a 115,65 m, com média de 70 m. O pequeno número de sondagens interpretadas é insuficiente para uma análise estatística consistente, assim a distribuição de sua espessura em área deve ser vista com cautela.

A Figura 5.20 mostra a localização da seção geoeletrica IJ, elaborada com dados geofisicos de SEVs realizadas na sub-bacia Abaeté, ilustrada na Figura 5.21. Nesta seção, as espessuras dos níveis conglomeráticos/silicificados não ultrapassam 0,50 m.

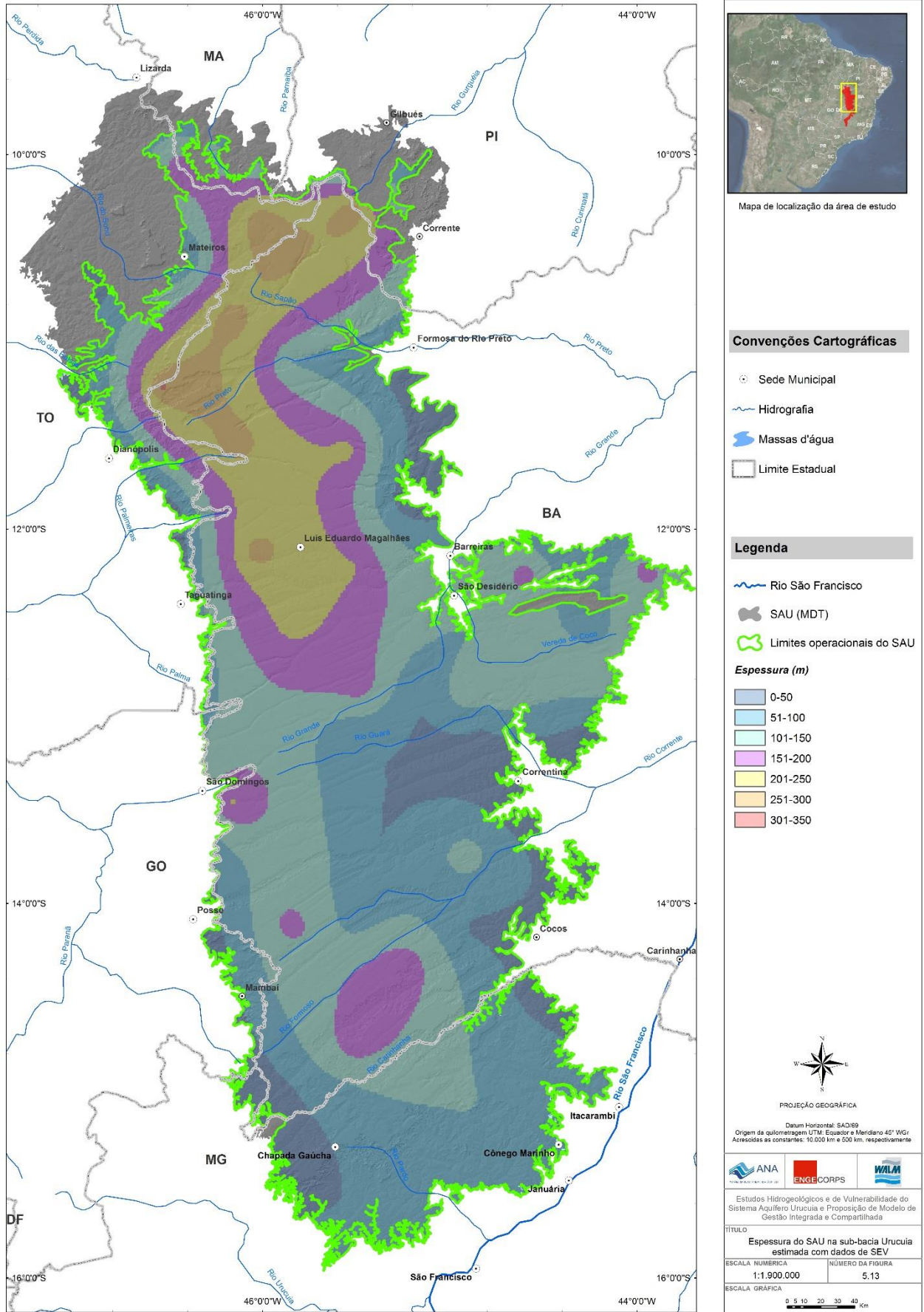


Figura 5.13 – Espessura do SAU na sub-bacia Uruçuia estimada com dados de SEV.

QUADRO 5.2 - IDENTIFICAÇÃO DOS ENSAIOS GEOFÍSICOS (SEVs), PROFUNDIDADE DO NA, ESPESSURA DO SAU E COTA DO EMBASAMENTO MODELADOS

SEV	Prof. NA (m)	Espessura SAU (m)	Cota embasamento (m)	SEV	Prof. NA (m)	Espessura SAU (m)	Cota embasamento (m)
6	72,30	200,00	448,00	83	13,87	40,85	609,15
9	57,00	300,00	493,00	84	28,00	115,65	600,35
10	56,30	304,00	505,00	86	21,70	91,50	798,50
12	13,35	30,00	481,00	87	6,25	25,95	661,05
13	54,60	280,00	486,00	88	18,87	70,74	796,26
16	83,28	290,00	474,00	89	18,95	69,10	849,90
18	150,00	317,00	550,00	90	18,90	110,00	734,00
19	17,30	100,00	509,00	91	26,10	85,20	772,80
20	5,12	15,00	520,00	92	15,60	62,50	746,50
22	109,00	285,00	556,00	93	8,40	33,60	773,40
23	94,70	227,14	539,86	95	3,30	20,20	796,80
25	54,75	209,65	580,35	96	6,00	40,10	856,90
29	85,35	281,95	544,05	98	20,70	30,00	329,00
30	55,55	212,00	529,00	99	10,50	51,25	842,75
31	49,95	177,15	561,85	100	33,57	118,85	637,15
32	49,35	169,68	698,32	N11	89,00	219,00	610,12
33	54,30	218,00	556,00	N12	41,65	231,10	679,79
34	20,90	102,80	629,20	N13	33,00	159,80	679,20
35	44,47	80,00	749,00	N14	30,00	101,50	680,39
37	10,53	59,58	666,42	N16	159,80	248,42	749,58
38	26,43	136,36	619,64	N17	60,20	202,50	726,00
39	34,65	150,00	609,00	N19	2,10	116,25	698,86
40	34,10	150,00	677,00	N2	112,00	264,00	509,90
41	28,60	61,50	719,50	N20	46,86	114,40	649,93
42	18,90	36,50	611,50	N21	10,13	39,65	659,60
43	6,90	15,00	722,00	N22	47,70	126,34	724,79
44	126,76	208,47	747,53	N23	41,85	77,75	639,58
45	28,17	61,48	647,52	N24	91,20	127,50	749,30
47	29,00	187,89	580,11	N25	10,15	153,50	689,99
49	48,40	94,53	718,47	N27	22,65	98,60	660,03
50	39,50	130,00	587,00	N28	52,30	162,20	709,48
51	15,30	37,00	750,00	N29	46,40	168,60	649,97
52	27,10	174,00	712,00	N30	78,90	129,50	669,74
53	41,56	74,47	746,53	N4	132,00	297,00	570,24
54	18,55	40,00	583,00	N5	80,00	243,00	559,85
56	49,35	198,00	600,00	N6	102,25	277,00	570,17
57	30,00	30,00	612,00	N7	57,00	169,50	549,76
58	78,68	138,90	762,10	N8	111,50	265,50	600,17
60	50,09	181,38	666,62	N9	99,10	146,00	580,03
61	40,12	60,00	730,00	NA	80,10	162,20	457,65
62	22,95	29,46	773,54	NB	29,30	80,00	397,41
63	24,70	68,40	700,60	NC	7,95	23,00	428,54
64	36,65	108,40	649,60	ND	92,80	248,50	520,25
65	10,00	58,75	715,25	NE	91,50	262,00	570,12
66	8,35	29,50	802,50	NF	38,10	170,70	650,07
67	27,30	63,30	579,70	NG	34,00	165,70	649,96
68	10,15	60,88	576,12	S2	1,00	2,00	617,78
69	20,70	81,70	608,30	S3	62,35	170,00	599,67
70	11,36	51,94	609,06	S4	60,50	87,50	599,79

Continua...

Conclusão.

QUADRO 5.2 - IDENTIFICAÇÃO DOS ENSAIOS GEOFÍSICOS (SEVs), PROFUNDIDADE DO NA, ESPESSURA DO SAU E COTA DO EMBASAMENTO MODELADOS

SEV	Prof. NA (m)	Espessura SAU (m)	Cota embasamento (m)	SEV	Prof. NA (m)	Espessura SAU (m)	Cota embasamento (m)
71	44,70	102,37	556,63	S5	15,10	256,10	630,32
72	17,32	60,50	554,50	S6	23,20	60,35	644,97
74	11,00	39,60	792,40	S7	11,60	56,70	679,24
75	11,28	28,00	807,00	S8	13,45	87,20	699,98
76	12,60	28,30	789,70	ST1	72,10	112,00	629,71
77	24,00	35,00	783,00	ST3	112,95	127,70	524,99
78	42,30	108,60	791,40	S13	27,70	75,60	629,18
79	18,20	79,00	747,00	S14	40,35	83,94	729,85
81	8,95	8,95	763,05	S15	135,85	164,50	608,93
82	8,90	63,80	539,20	PAR-04	35,00	215,00	476,00

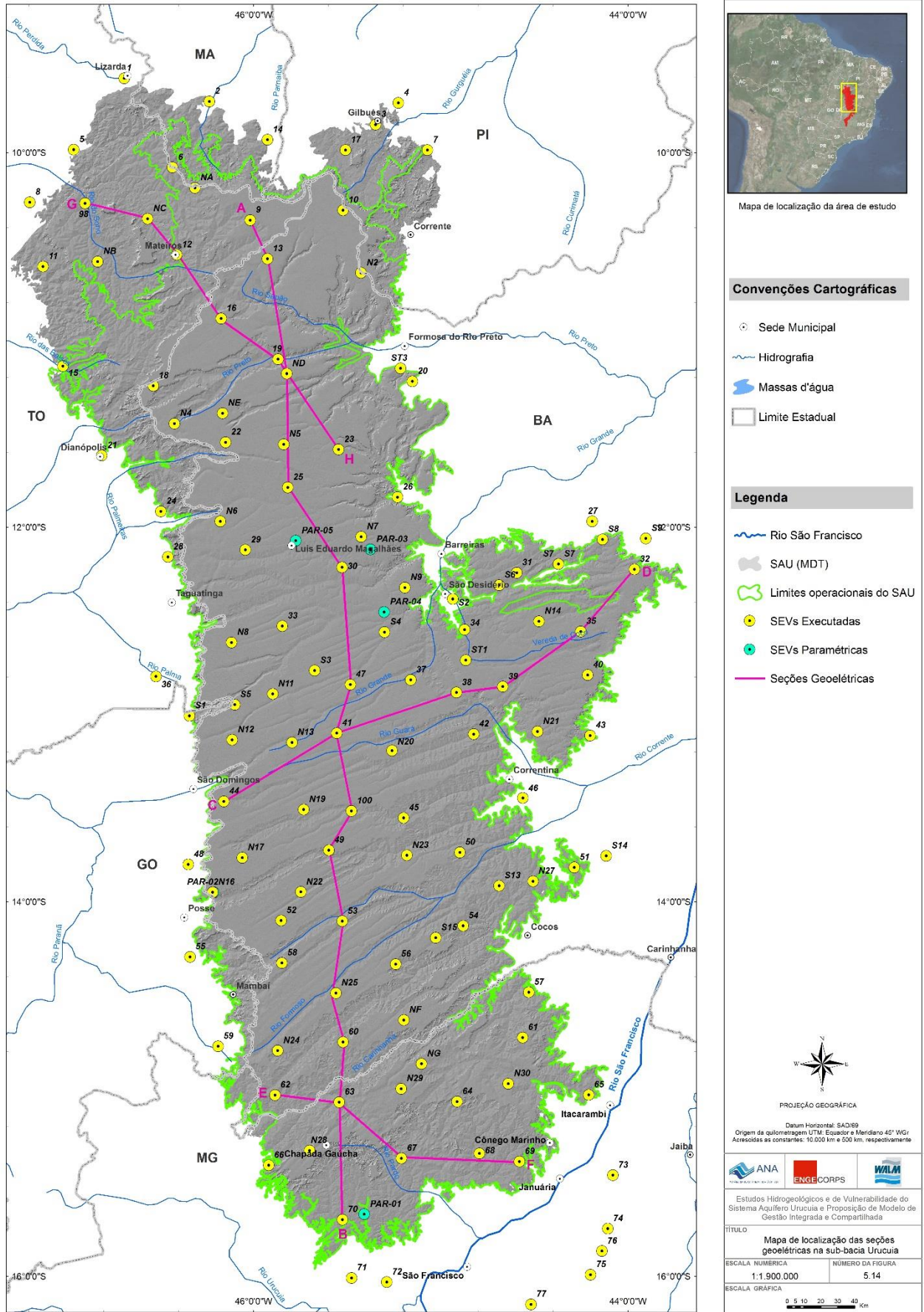


Figura 5.14 - Mapa de localização das seções geolétricas na sub-bacia Urucua.

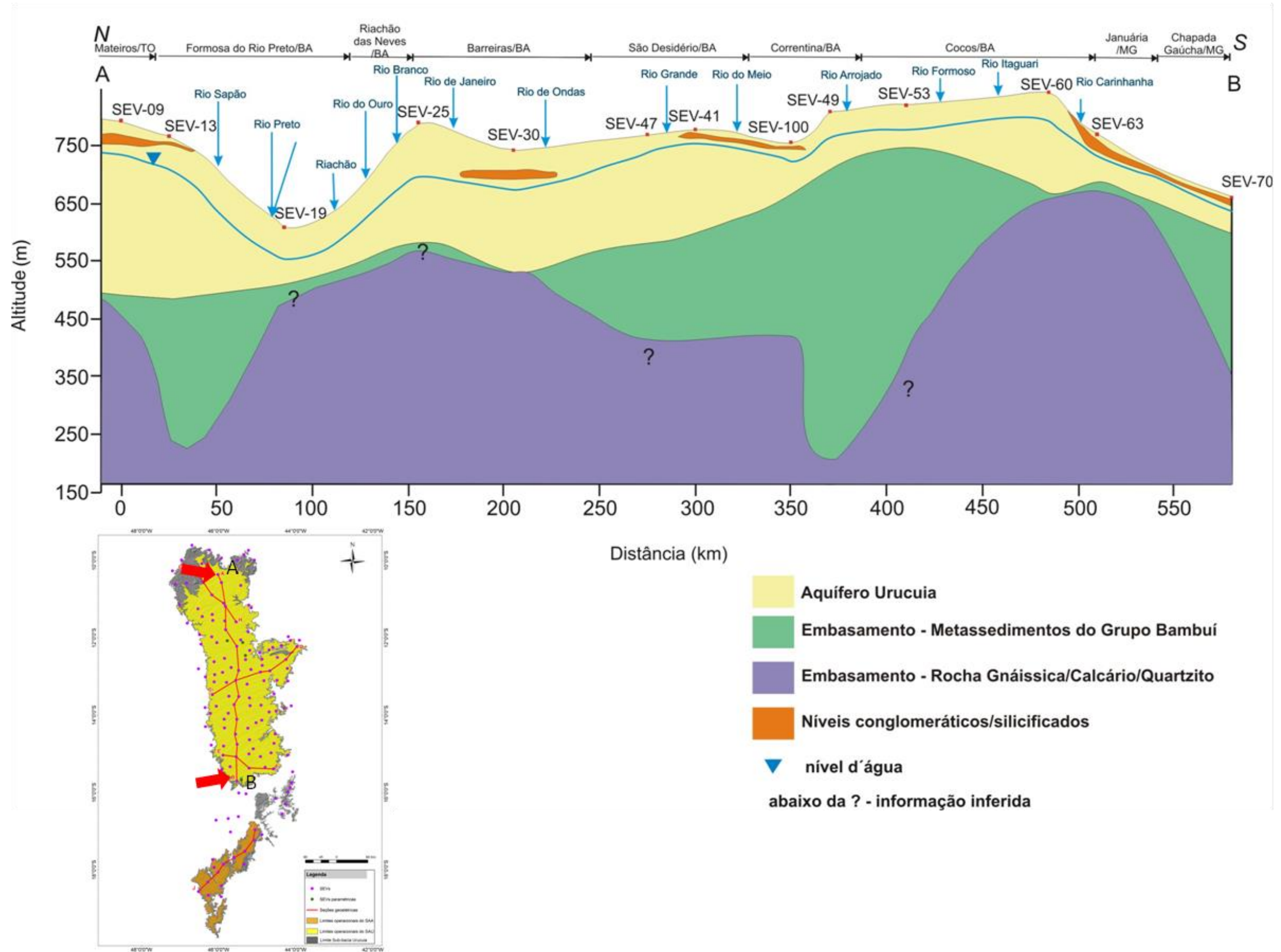


Figura 5.15 - Seção geoeétrica AB.

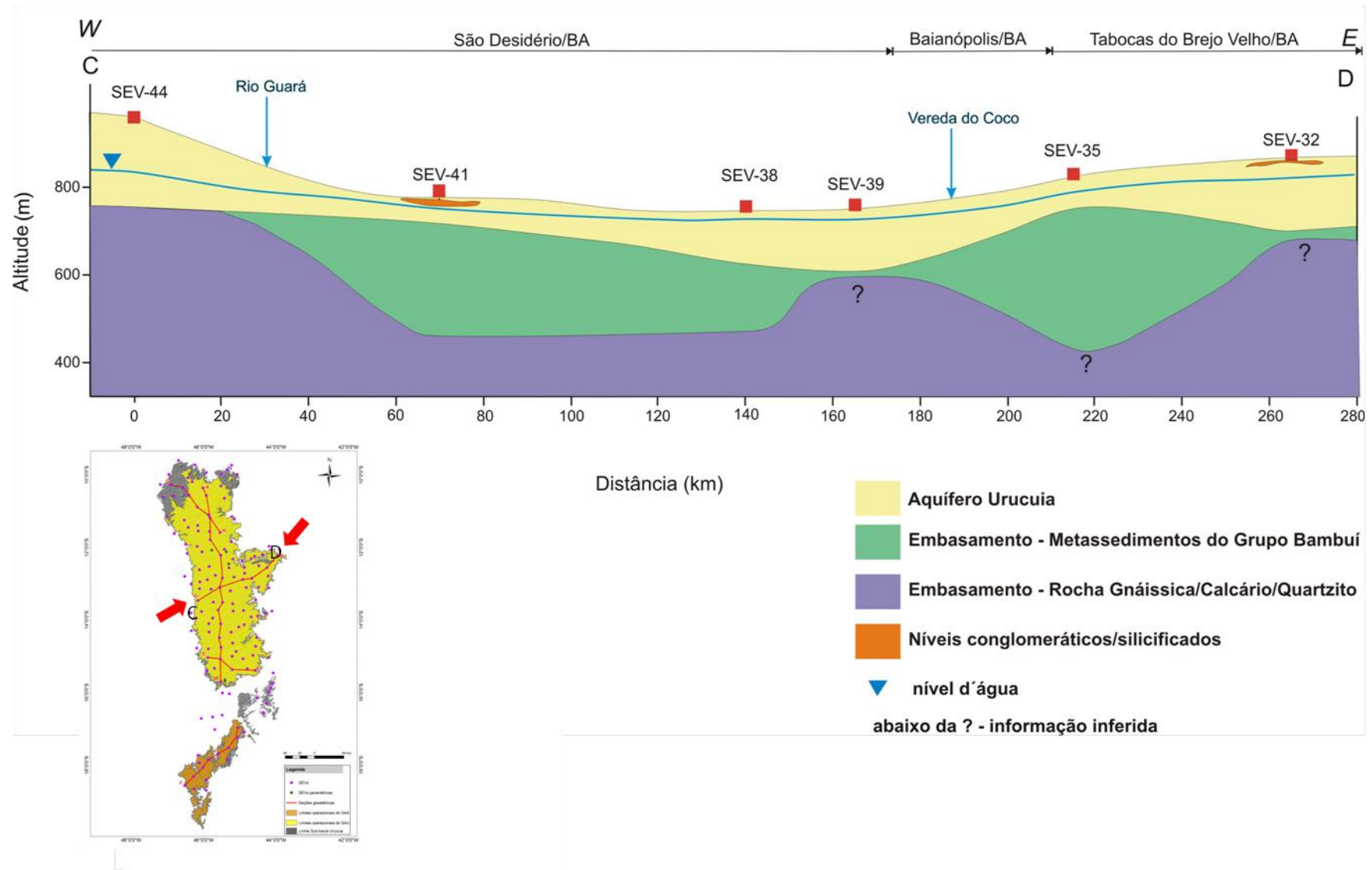


Figura 5.16 - Seção geolétrica CD

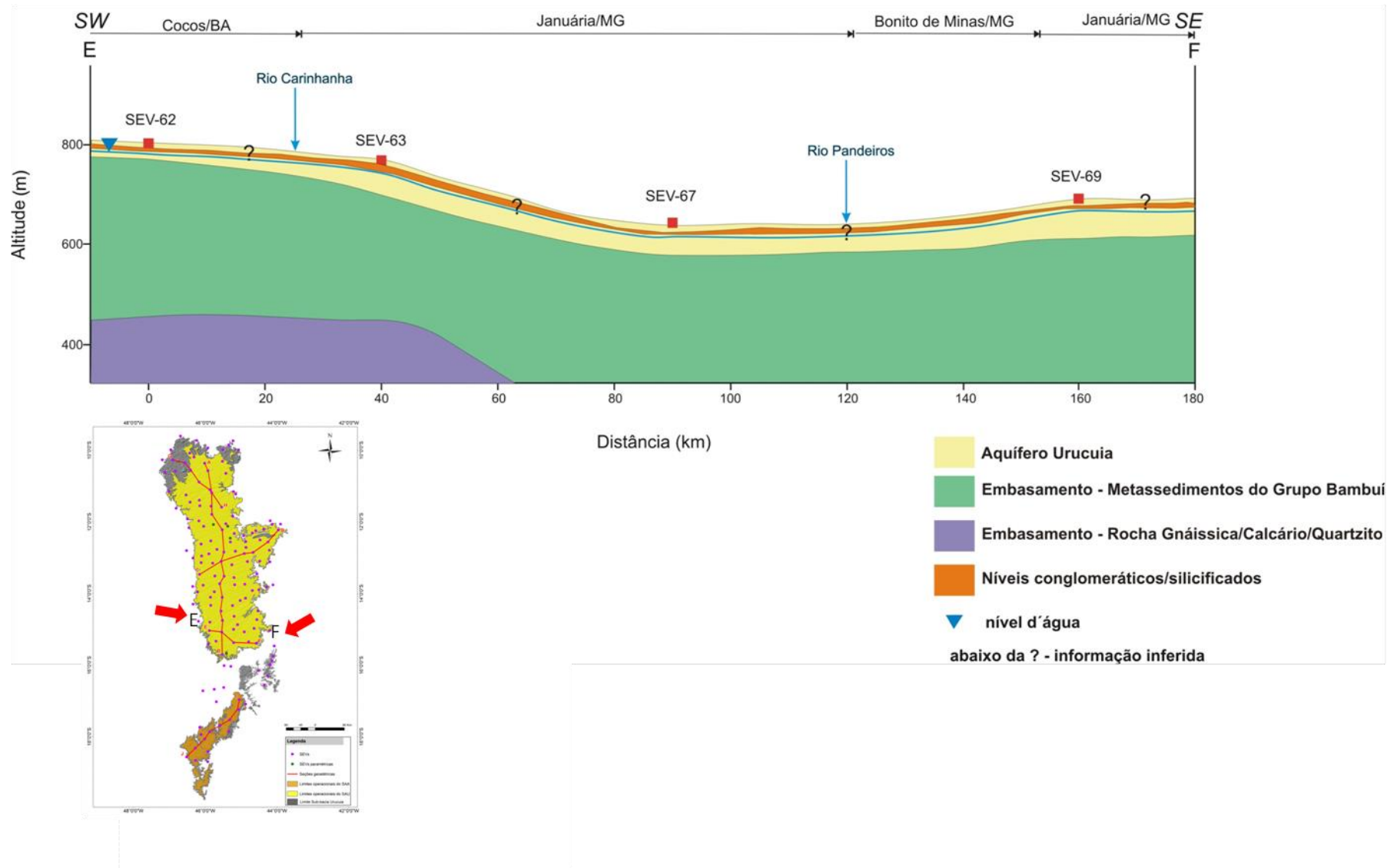


Figura 5.17 - Seção geológica EF.

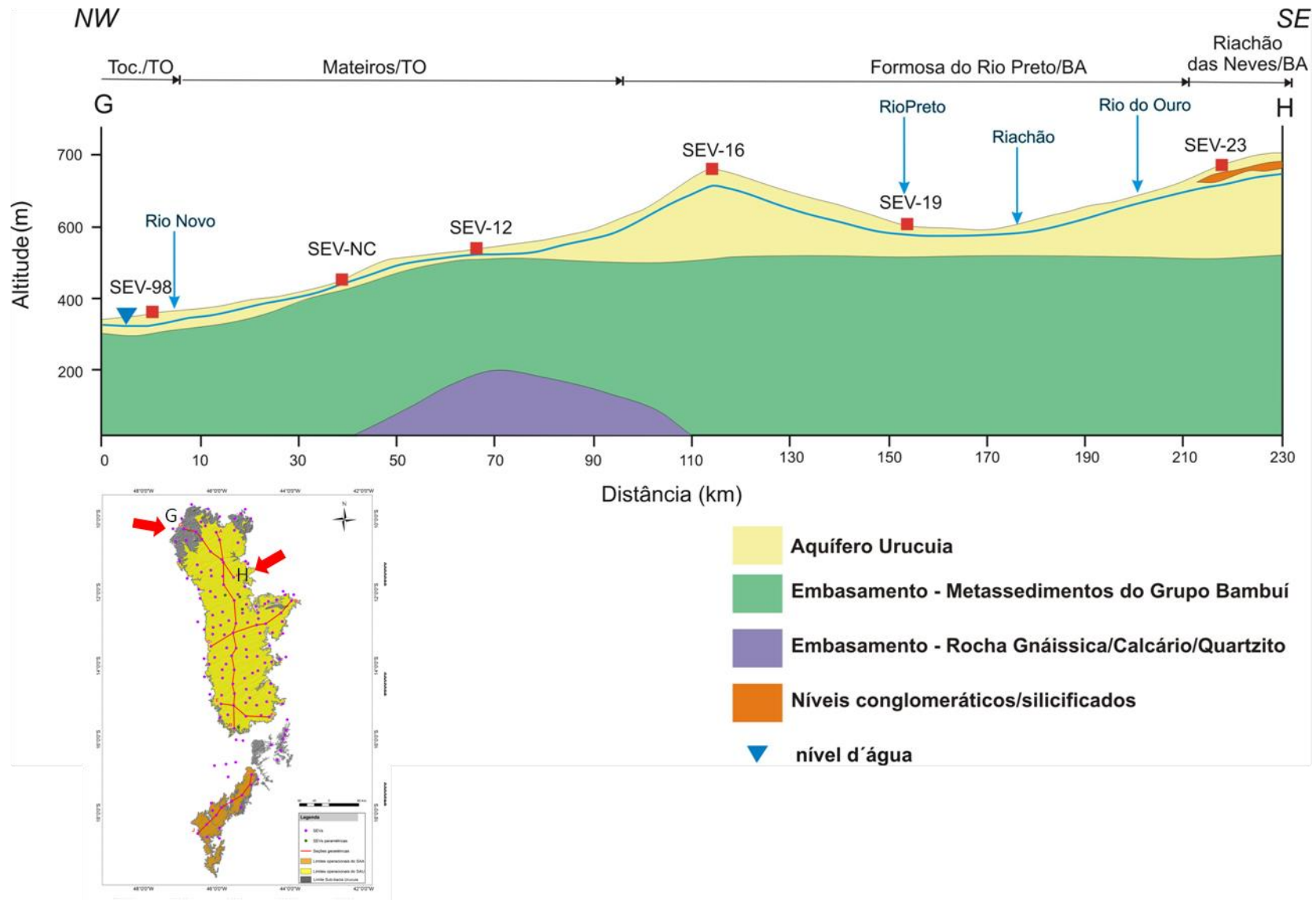


Figura 5.18 - Seção geológica GH.

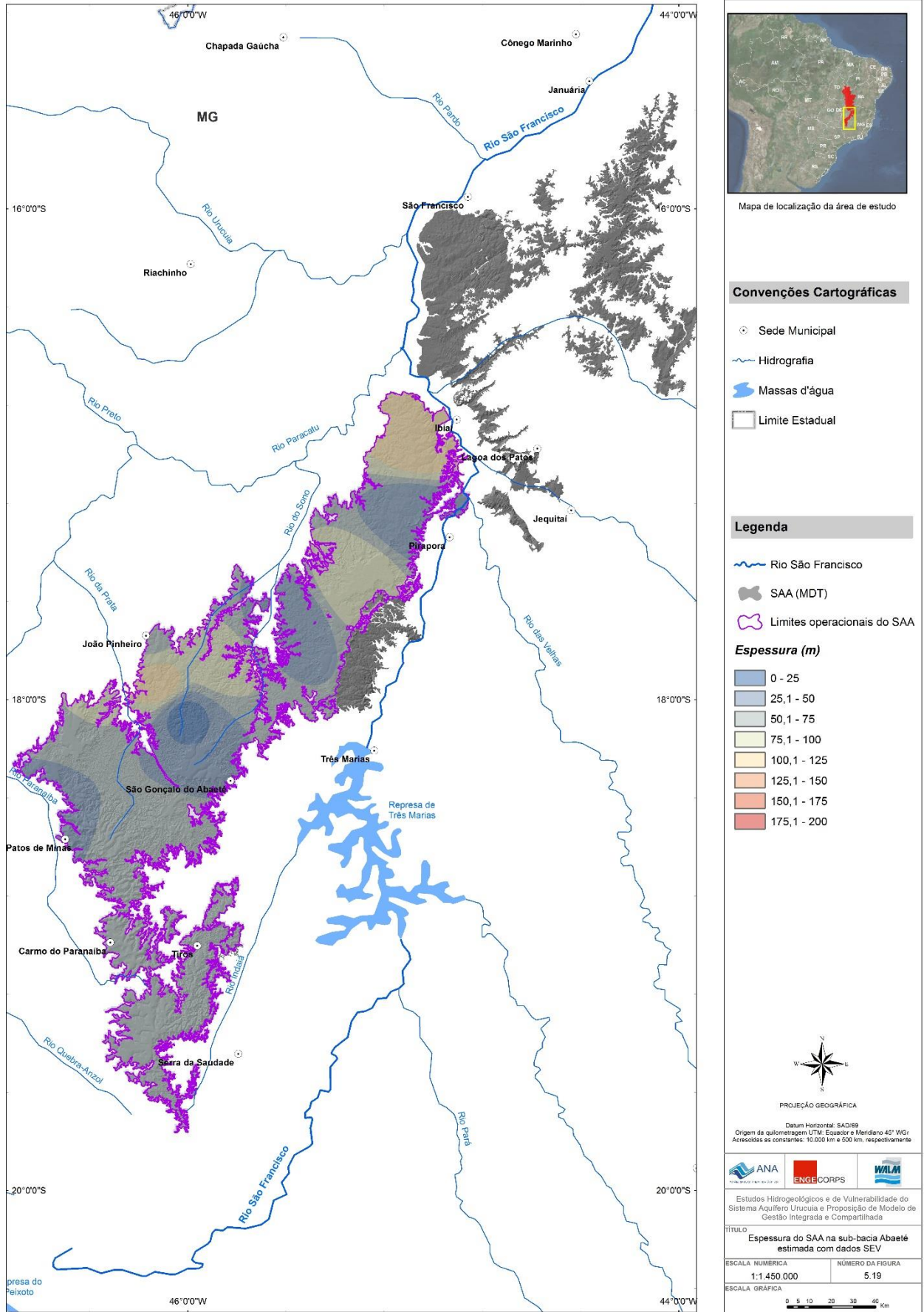


Figura 5.19 – Espessura do SAA na sub-bacia Abaeté estimada com dados de SEV

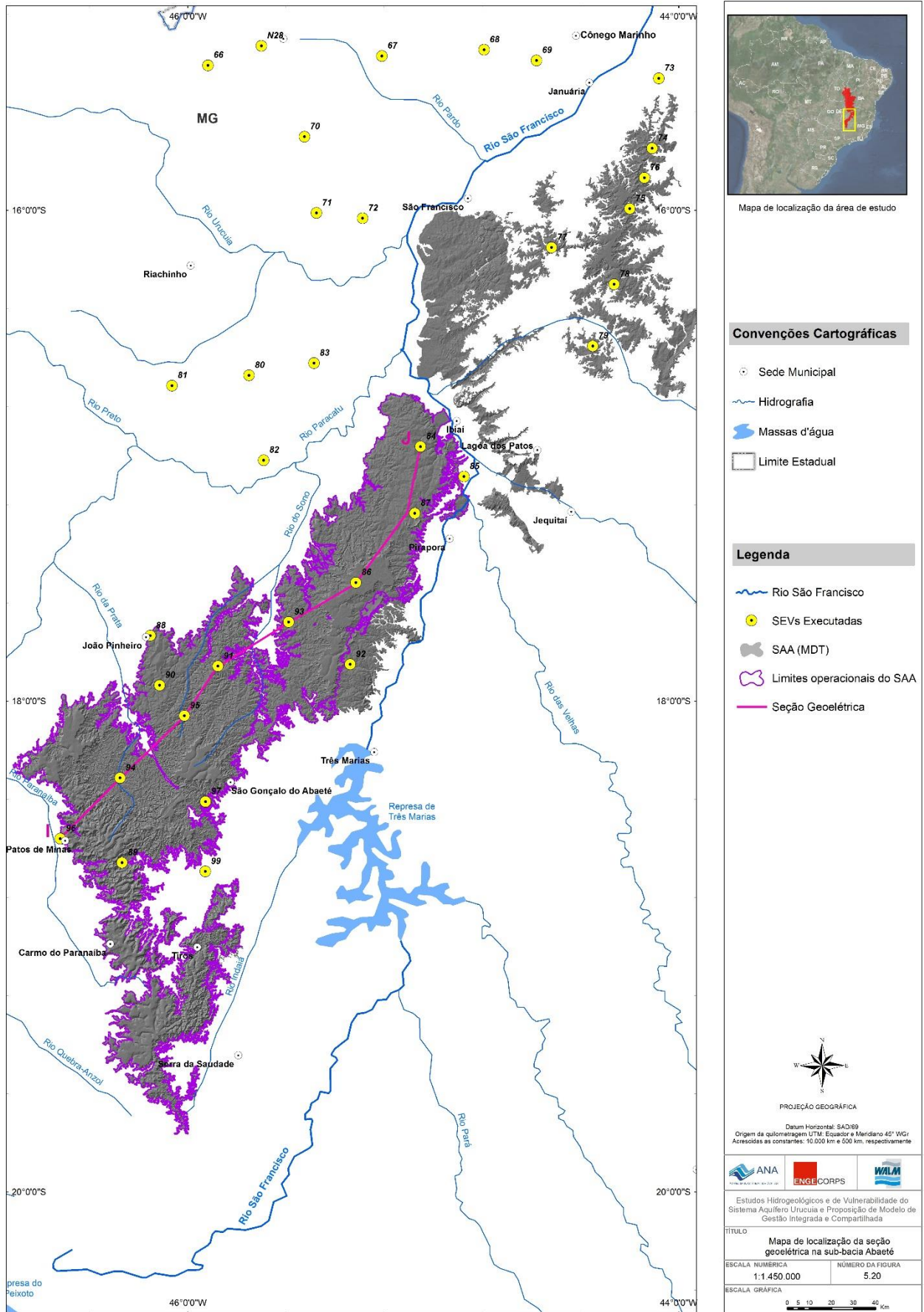


Figura 5.20 - Mapa de localização da seção geoelétricas na sub-bacia Abaeté.

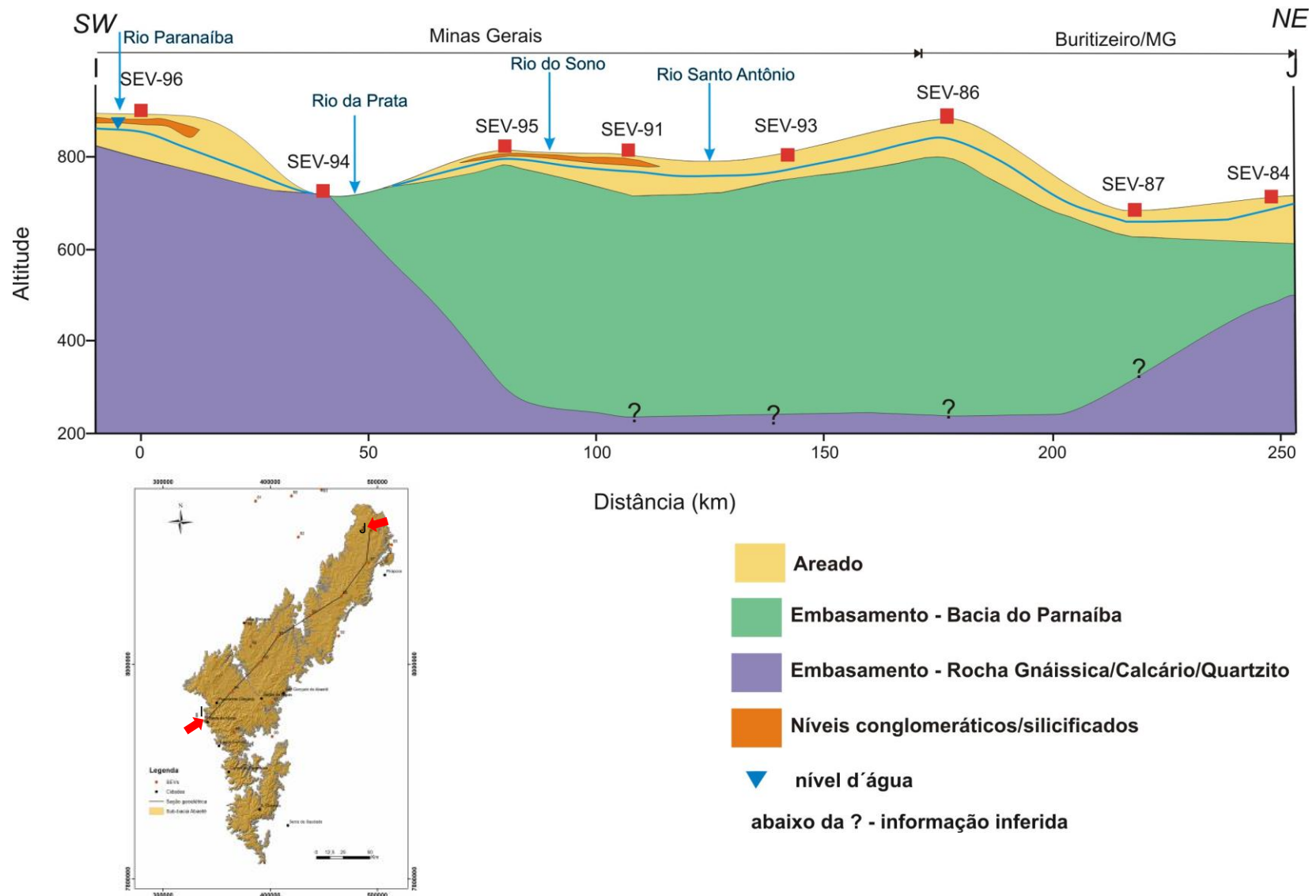


Figura 5.21 - Seção geológica I J.

5.2 MÉTODO ELETROMAGNÉTICO - TDEM

Foram realizadas 200 sondagens utilizando o método eletromagnético - TDEM ou TEM como é referido na bibliografia (Figuras 5.22 e 5.23). Das 200 sondagens realizadas, 33 foram desconsideradas devido a problemas de ruídos existentes nos dados.

O Anexo V relaciona as sondagens TDEM executadas, suas coordenadas, altitudes e espessura do SAU. Os dados de campo estão apresentados no Anexo VI.



Figura 5.22 – Fotos ilustrando o levantamento geofísico por meio da técnica de sondagem TDEM.

A partir dos resultados obtidos com os dados de TDEM, a espessura do SAU na sub-bacia Urucuiá, varia entre 2 m e 366,7 m (Figura 5.24). O Quadro 5.3 identifica os valores de espessura e da cota do embasamento com os respectivos ensaios executados.

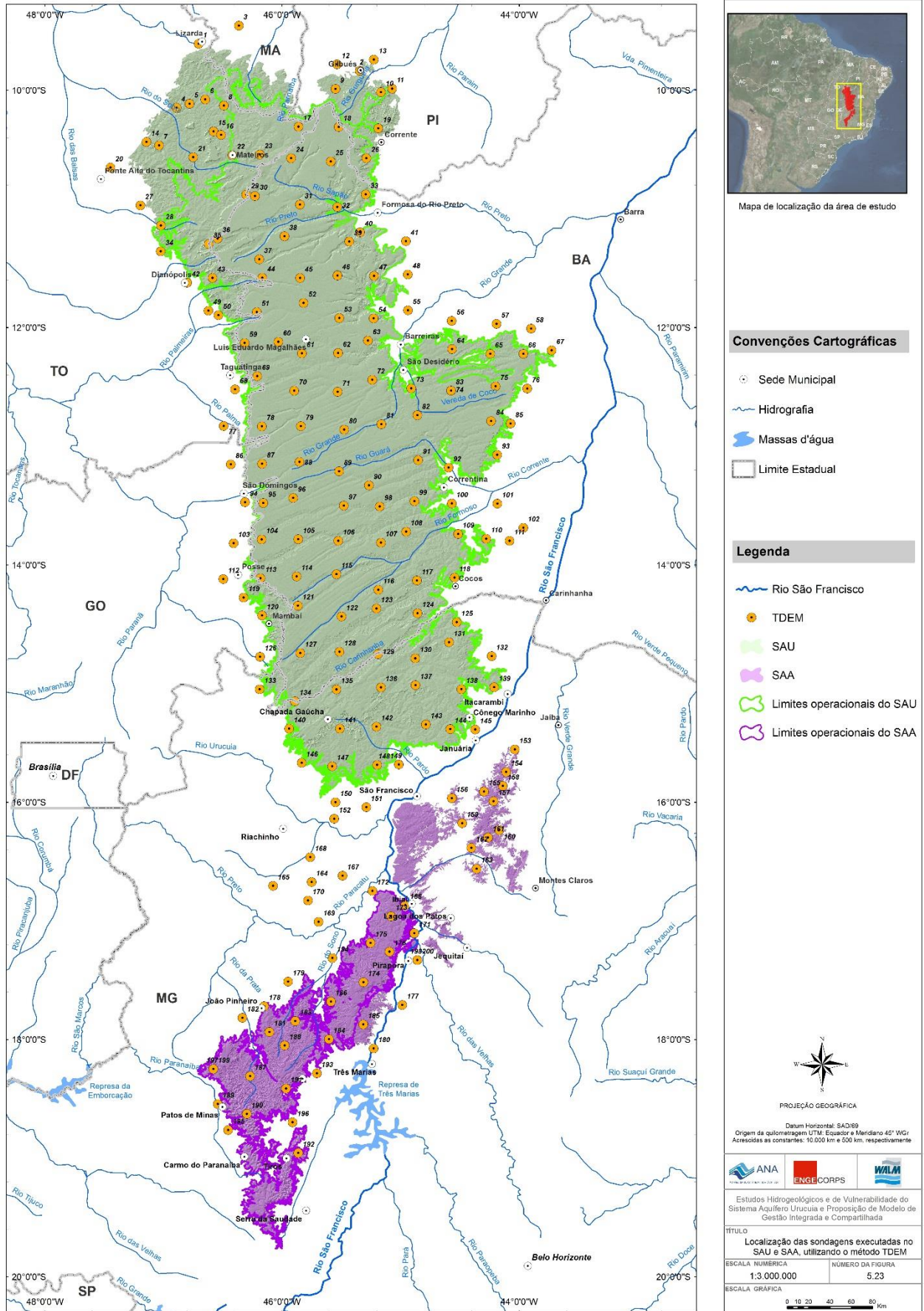


Figura 5.23 - Localização das sondagens executadas no SAU, utilizando o método TDEM.

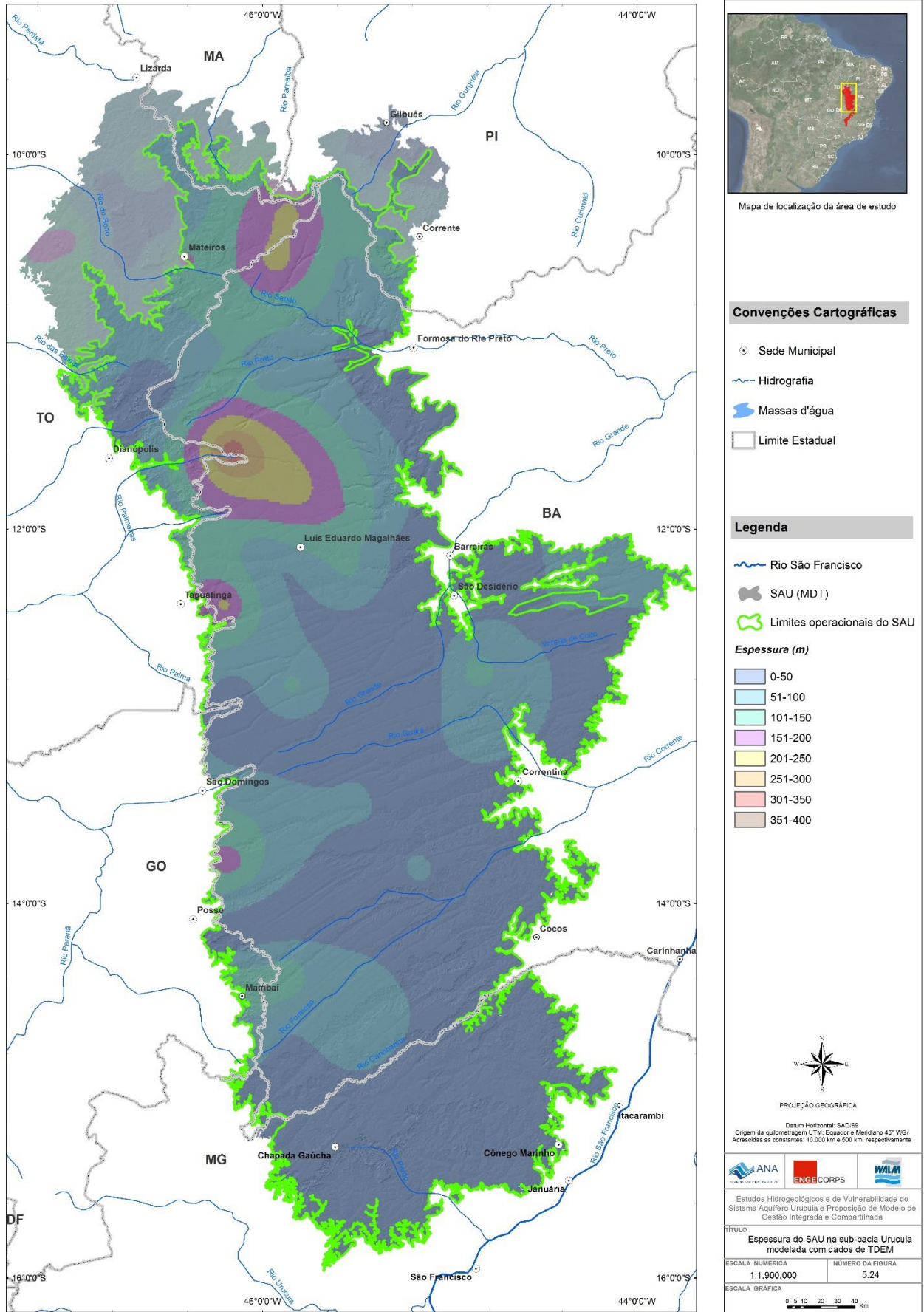


Figura 5.24 – Espessura do SAU na sub-bacia Uruçuia estimada com dados de TDEM.

QUADRO 5.3 - IDENTIFICAÇÃO DOS ENSAIOS GEOFÍSICOS(TDEM), ESPESSURA DO SAU E COTA DO EMBASAMENTO MODELADOS

TDEM	Espessura SAU (m)	Cota do Embasamento (m)
TEM-2	27,8	443,200
TEM-4	42,7	281,300
TEM-5	36,5	379,500
TEM-8	48,6	478,400
TEM-10	18,5	451,500
TEM-15	16	392
TEM-16	34,1	401,9
TEM-17	227,2	557,8
TEM-19	77,5	441,5
TEM-21	29,8	380,2
TEM-22	172,7	338,3
TEM-23	138	552
TEM-24	232,6	532,4
TEM-25	90,1	699,9
TEM-26	117,1	390,9
TEM-28	116,4	427,6
TEM-32	33,3	477,7
TEM-39	32,2	529,8
TEM-40	22,3	640,7
TEM-44	366,7	475,3
TEM-47	40,3	568,7
TEM-50	38,2	567,8
TEM-53	148,1	605,9
TEM-62	118,1	622,9
TEM-64	34,6	707,4
TEM-65	110	694
TEM-69	224,7	665,3
TEM-73	47,8	540,2
TEM-74	26,3	745,7
TEM-75	23,4	810,6
TEM-78	30,3	875,7
TEM-79	121,5	688,5
TEM-81	2,1	728,9
TEM-82	133,6	610,4
TEM-83	58,5	713,5
TEM-85	19,3	682,7
TEM-89	47,7	710,3
TEM-91	74	576
TEM-97	57,9	666,1
TEM-98	31	647
TEM-99	18,9	690,1
TEM-104	183,8	791,2
TEM-106	20,4	726,6
TEM-107	60,3	688,7
TEM-110	16,7	750,3
TEM-114	9,1	891,9
TEM-115	17,8	727,2
TEM-116	24,2	741,8
TEM-120	153,8	603,2
TEM-121	134,5	774,5
TEM-122	86,3	742,7
TEM-124	31,8	628,2
TEM-125	41,8	595,2
TEM-127	34,3	869,7
TEM-128	74,6	757,4
TEM-130	37,7	658,3
TEM-133	47,9	773,1
TEM-134	21,1	698,9
TEM-137	5,9	796,1
TEM-138	56,8	704,2
TEM-139	34,4	740,6
TEM-143	35,9	587,1
TEM-144	46,8	640,2
TEM-148	53,5	538,5
TEM-150	23,5	603,5

Sessenta e um (61) ensaios de TDEM estão localizados próximos à SEVs. Desses 61 ensaios, 14 deles (TDEM 18, 30, 37, 70, 80, 84, 88, 95, 108, 117, 140, 142, 147 e 196) correspondem aos pontos de TDEM que não foram interpretados devido a problemas de ruídos. Assim, foram considerados 46 ensaios para comparação entre os valores de espessura do SAU obtidos pelo método TDEM e pelo método elétrico (SEVs). A comparação mostrou que somente em pouco mais da metade dos pontos ensaiados (52%) as diferenças de espessura foram menores ou iguais a 50 m e o restante (48%) as diferenças de espessuras foram maiores que 50 m.

Este baixo percentual de registros que podem ser considerados aproximadamente coincidentes, obtidos por esses dois métodos geofísicos, foi fortemente condicionado pelos parâmetros adotados na aquisição dos dados de TDEM, que consideraram frequências baixas de modo a favorecer a investigação de profundidades maiores, nesse caso até 1.000 m, mas reduziram o contraste na identificação de estratos com propriedades físicas distintas. Essa perda de contraste provavelmente suprimiu algumas camadas identificadas nas SEVs e que correspondem ao contato da base do SAU.

Os dados interpretados das sondagens TDEM encontram-se no Anexo VII.

A Figura 5.25 apresenta mapas de distribuição da espessura do SAU na sub-bacia Urucua, gerados unicamente a partir de dados interpretados de SEVs ou de TDEM. A comparação entre os dois mapas mostra que os diferentes métodos geofísicos aplicados geraram diferentes produtos, em razão das particularidades de cada técnica.

Comparando os mapas ilustrados na Figura 5.25, nota-se que a distribuição de espessuras maiores é mais abrangente no mapa elaborado por meio da técnica de SEV do que no elaborado por meio da técnica TDEM.

Devido à redução de contraste na identificação dos estratos por meio da técnica TDEM, optou-se adotar a espessura do SAU obtida por meio da técnica de SEV.

Exercício similar foi efetuado para o SAA, ilustrado na Figura 5.26. Do mesmo modo, optou-se adotar a espessura do SAA obtida por meio da técnica de SEV.

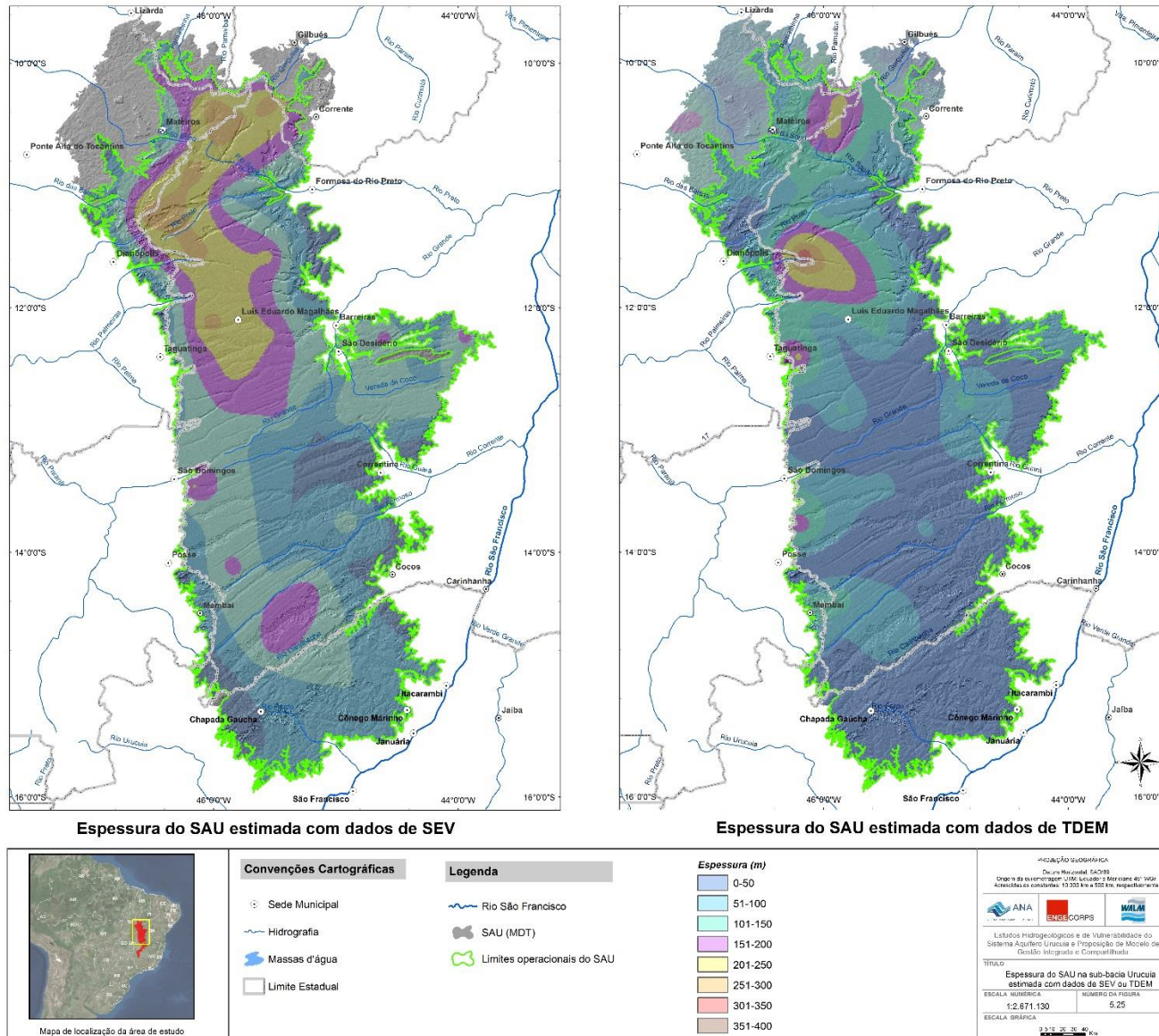


Figura 5.25 – Espessura do SAU na sub-bacia Uruçuia estimada com dados de SEV ou TDEM.

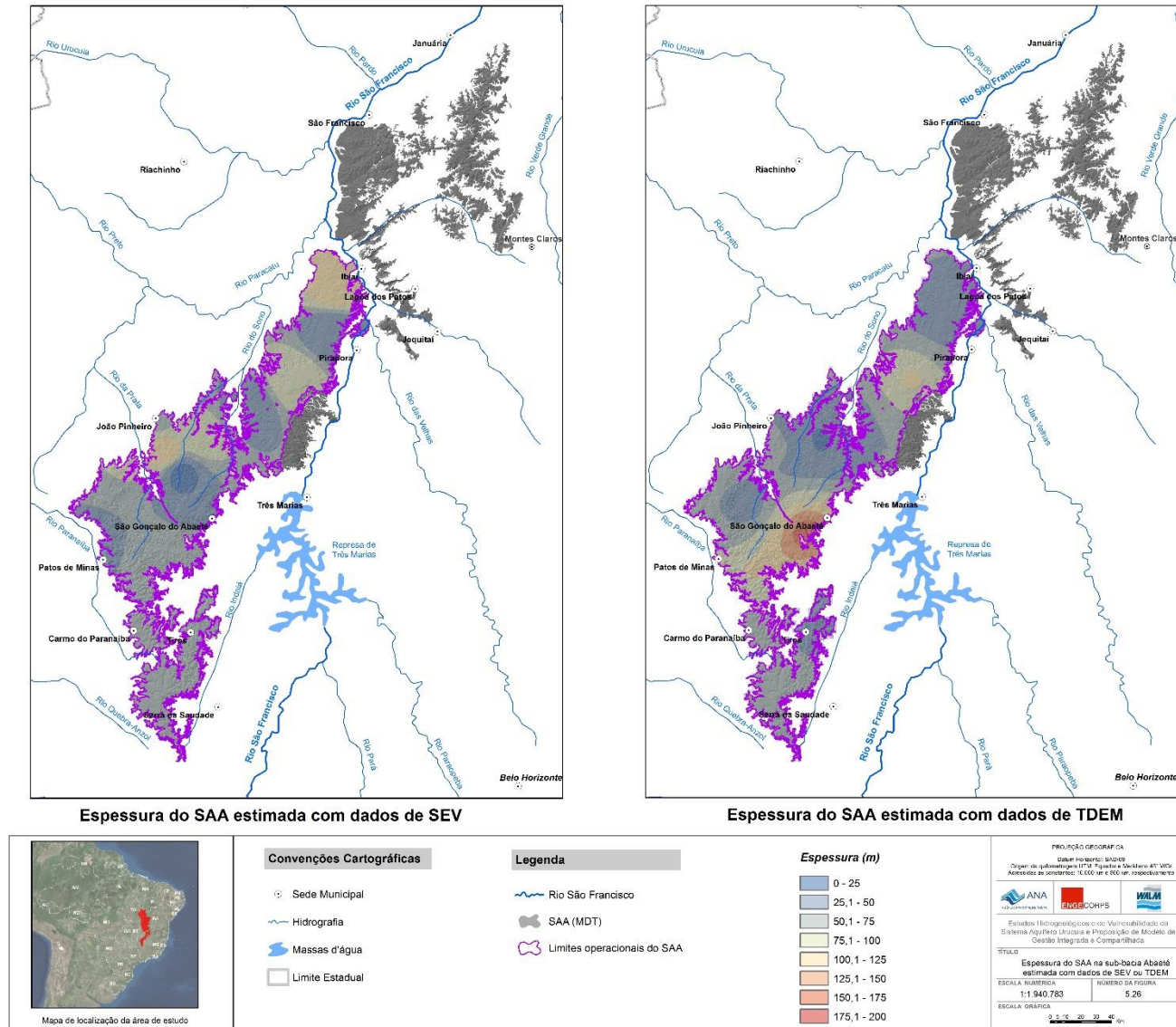


Figura 5.26 – Espessura do SAA na sub-bacia Abaeté estimada com dados de SEV ou TDEM

5.3 MÉTODO GRAVIMÉTRICO

Nesse estudo foram adquiridos dados gravimétricos ao longo de 200 estações com a utilização do gravímetro digital modelo CG-5, fabricado pela SCINTREX (Figura 5.27). A malha de localização das estações foi elaborada de modo a obter um espaçamento de 30 quilômetros entre cada ponto de medida. Os pontos das estações gravimétricas foram os mesmos dos ensaios de TDEM.

A Figura 5.28 ilustra a área do levantamento e a posição das estações e o Anexo VIII relaciona as estações, suas coordenadas e altitudes.



Figura 5.27 – Fotos ilustrando o levantamento geofísico por meio do método gravimétrico.

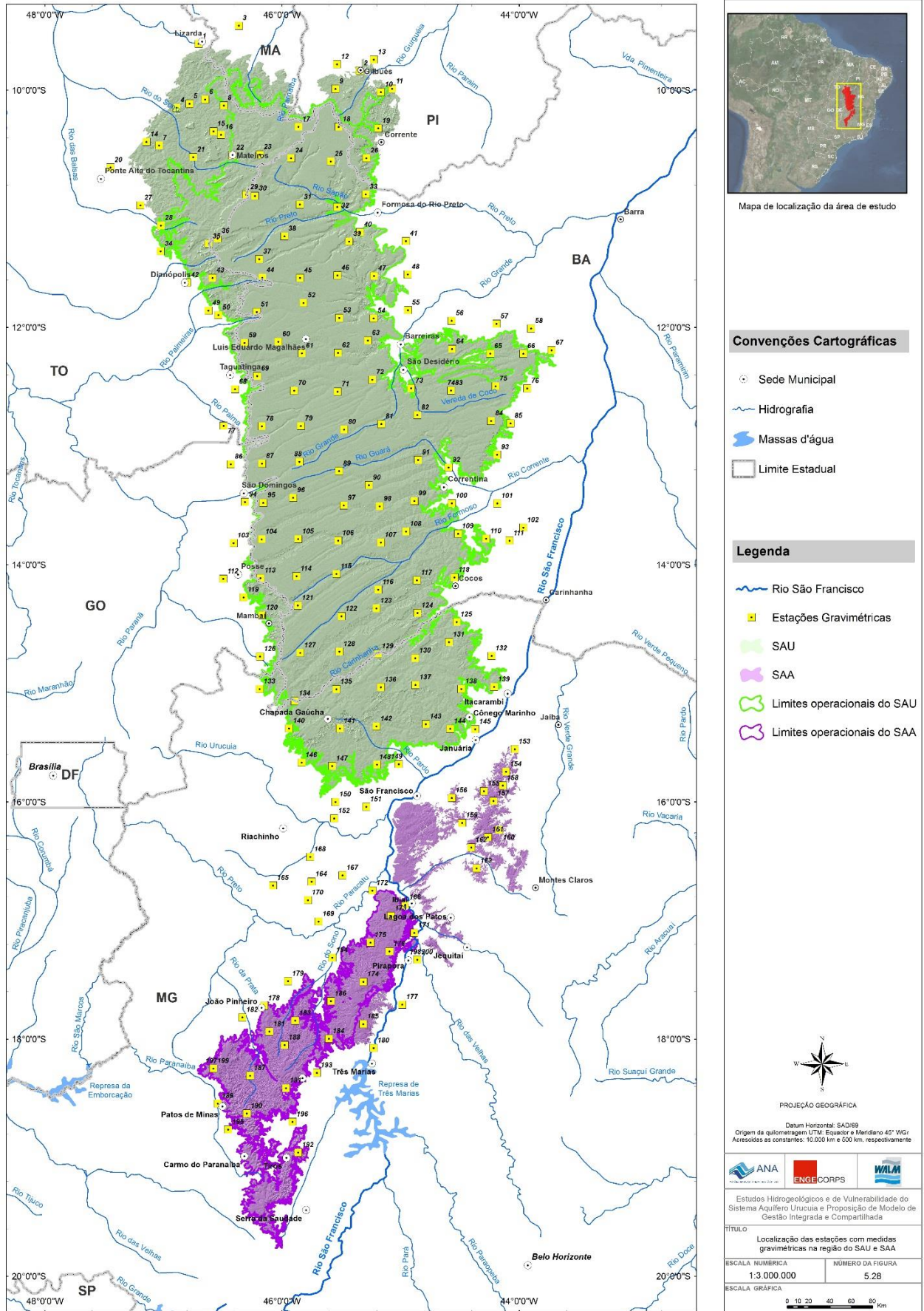


Figura 5.28 - Localização das estações com medidas gravimétricas na região do SAU. Área 23 S na projeção UTM, datum WGS84.

A grandeza medida em campo com a utilização do gravímetro é a aceleração da gravidade nos pontos determinados segundo a malha de levantamento executada. O fechamento das linhas é realizado num mesmo ponto, dentro de 24 horas, para permitir o cálculo da deriva instrumental. Em cada ponto de medida foi determinada a altitude ortométrica e as coordenadas por meio de GPS. Os dados armazenados foram posteriormente tratados, juntamente com dados fornecidos pelo IBGE (Anexo IX).

5.3.1 Processamento e Modelagem Gravimétrica

Para o levantamento foram utilizadas as seguintes estações base:

- ✓ Observatório Nacional: Patos de Minas "C", Pirapora "B", Montes Claros "B", Alvorada do Norte "C", Januária "B", Itacarambi "B", Coribe "B" e Santana "B" que podem ser acessadas pelo site www.on.br/conteudo/gravimetria;
- ✓ IBGE: Bonfinópolis de Minas (8076331), Barreiras (8071157), Mateiros (8077778), Gilbués (8073844) e Corrente (8073880) descritas no endereço eletrônico www.bdg.gov.br/home/geociencias/geodesia/bdgpesq_googlemaps.php.

Para as correções de terreno foram utilizados dados altimétricos obtidos pelo sensor ASTER GDEM (Global Digital Elevation Map), com imagens produzidas a partir de pares estereográficos com resolução espacial horizontal de 30 metros e erro vertical de 20 metros, com 95% de confiança (<http://gdem.aster.ersdac.or.jp/>).

O processamento dos dados gravimétricos foi feito pelo *software* Oasis Montaj da GEOSOFT. Como parâmetro para o processamento foram utilizadas células interpoladoras de 7,5 km, o que representa um quarto do espaçamento entre as estações. Durante o processamento foram realizadas todas as correções necessárias aos dados adquiridos, como: correções de maré, drift ou deriva instrumental, latitude, Ar-Livre, Bouguer simples e Bouguer completa. Os valores de gravidade absoluta utilizados para os cálculos foram baseados nos valores registrados em cada estação base mais próxima.

Foram avaliados alguns métodos de interpolação para a escolha do mais adequado à distribuição espacial dos dados e aos objetivos propostos. Para a elaboração do mapa de anomalias Bouguer (Figura 5.29) foi utilizado o método da mínima curvatura.

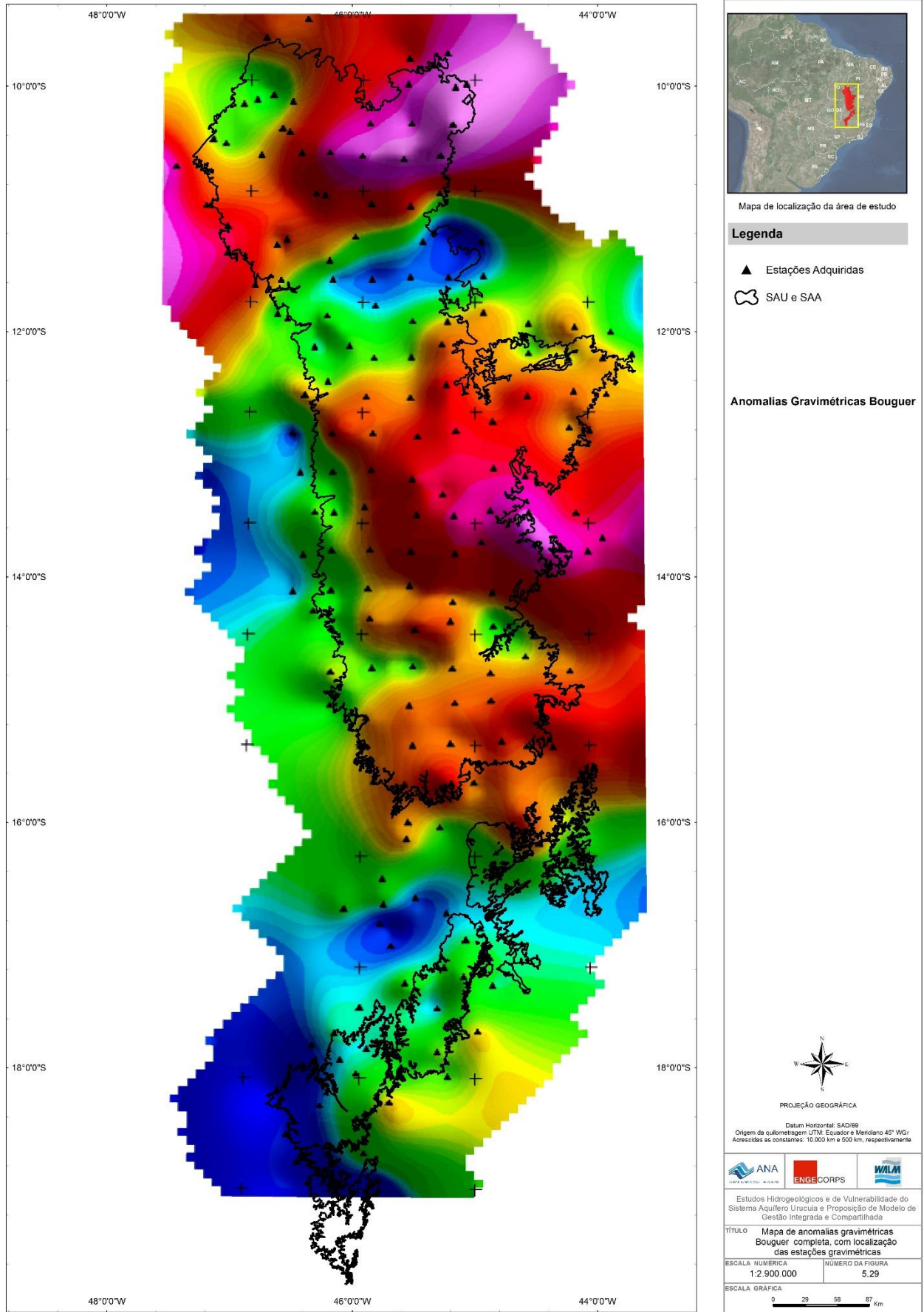


Figura 5.29 - Mapa de anomalias gravimétricas Bouguer completa, com localização das estações gravimétricas

Para obtenção de melhores resultados na separação espectral das fontes rasas e profundas, que causam as anomalias gravimétricas, gerou-se o espectro radial de potência (Figura 5.30) As fontes mais profundas, pelo espectro, variam entre 75 e 50 km, enquanto as fontes intermediárias e rasas variam entre 50 e 15 km.

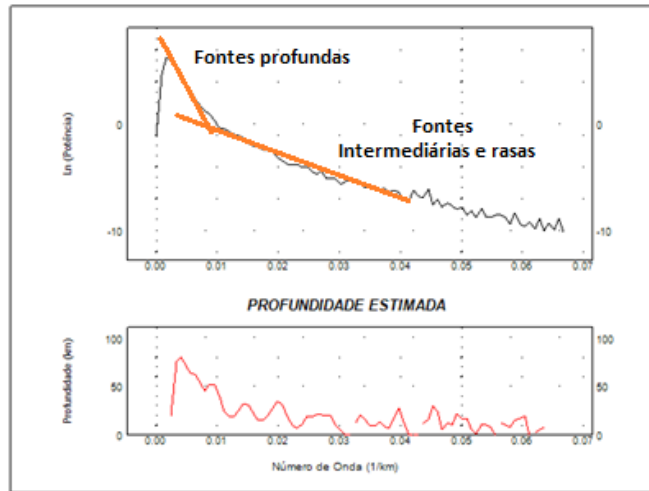


Figura 5.30 - Espectro de potência radial médio do campo gravimétrico residual anômalo da área estudada

A aplicação de um filtro de separação aos dados processados possibilitou a geração de componentes regional e residual do campo gravimétrico, com base em uma distribuição gaussiana das fontes gravimétricas em função de suas profundidades (Figura 5.31). Para elaborar o mapa regional foi utilizado o método de continuação para cima enquanto que na elaboração do mapa residual o filtro aplicado foi o Butterworth.

A modelagem gravimétrica foi efetuada com diferentes valores de densidades para cada tipo de material, de acordo com estudos realizados anteriormente, e com consulta à bibliografia sobre a área na qual foi realizado o levantamento.

Os valores de densidades utilizados na modelagem foram de 1,9 g/cm³ para as rochas associadas ao Grupo Urucuia; 2,3 g/cm³ para as rochas que compõem o Grupo Bambuí; 2,5 g/cm³ para as rochas que compõem os Grupos Canastra e Espinhaço e 2,7 g/cm³ para as rochas do embasamento cristalino.

Utilizando as densidades acima descritas foram elaboradas e modeladas seis seções gravimétricas que permitiram estimar a geometria e delimitar o comportamento do Sistema Aquífero Urucuia (Figuras 5.32 a 5.37).

No modelamento dos dados gravimétricos foram observadas quebras bruscas no contato entre o topo do embasamento e as rochas interpretadas como dos Grupos Espinhaço/Canastra. Para justificar tais desníveis foram inferidos sistemas de falhas.

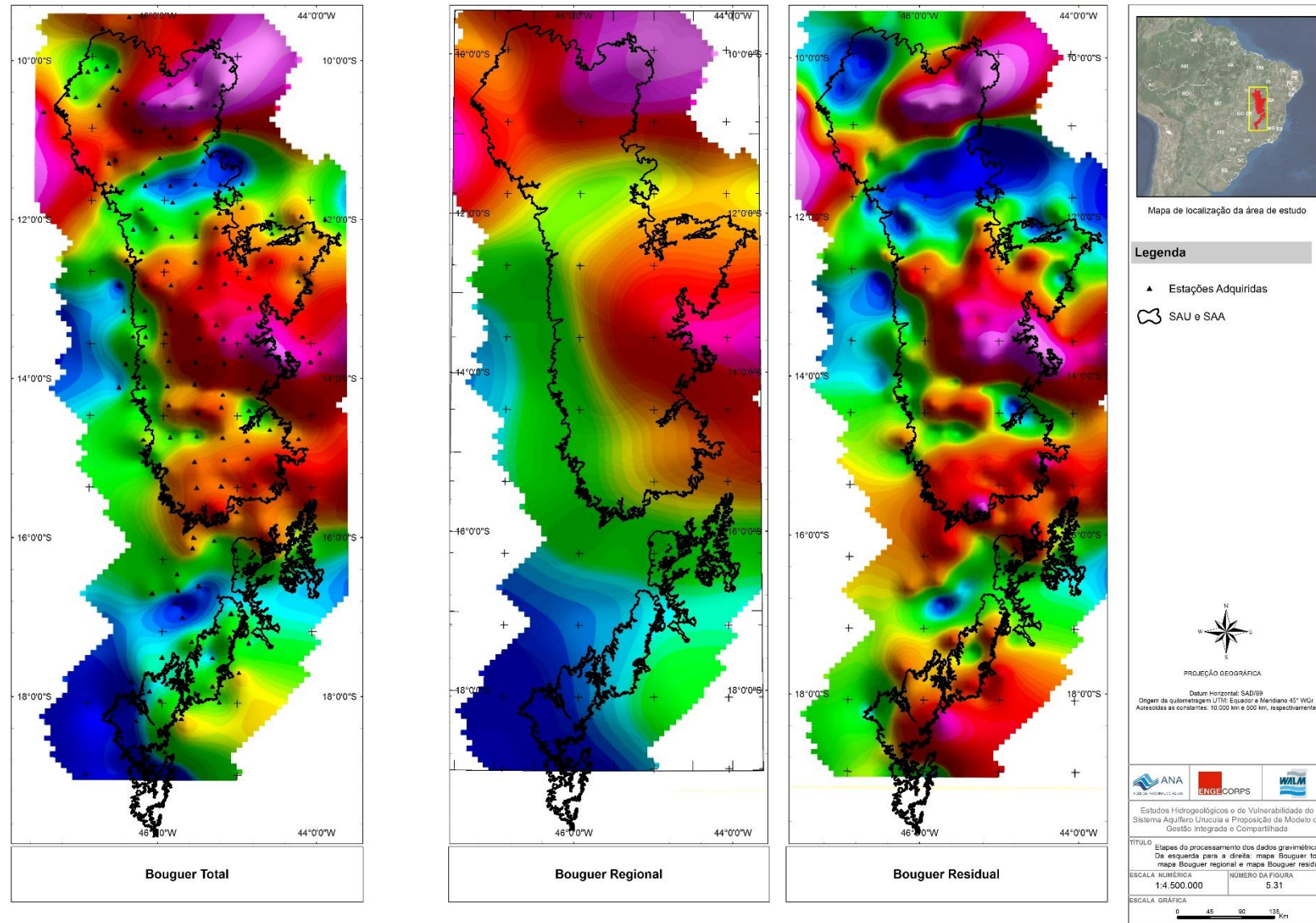


Figura 5.31 - Etapas do processamento dos dados gravimétricos. Da esquerda para a direita: mapa Bouguer total, mapa Bouguer regional e mapa Bouguer residual.

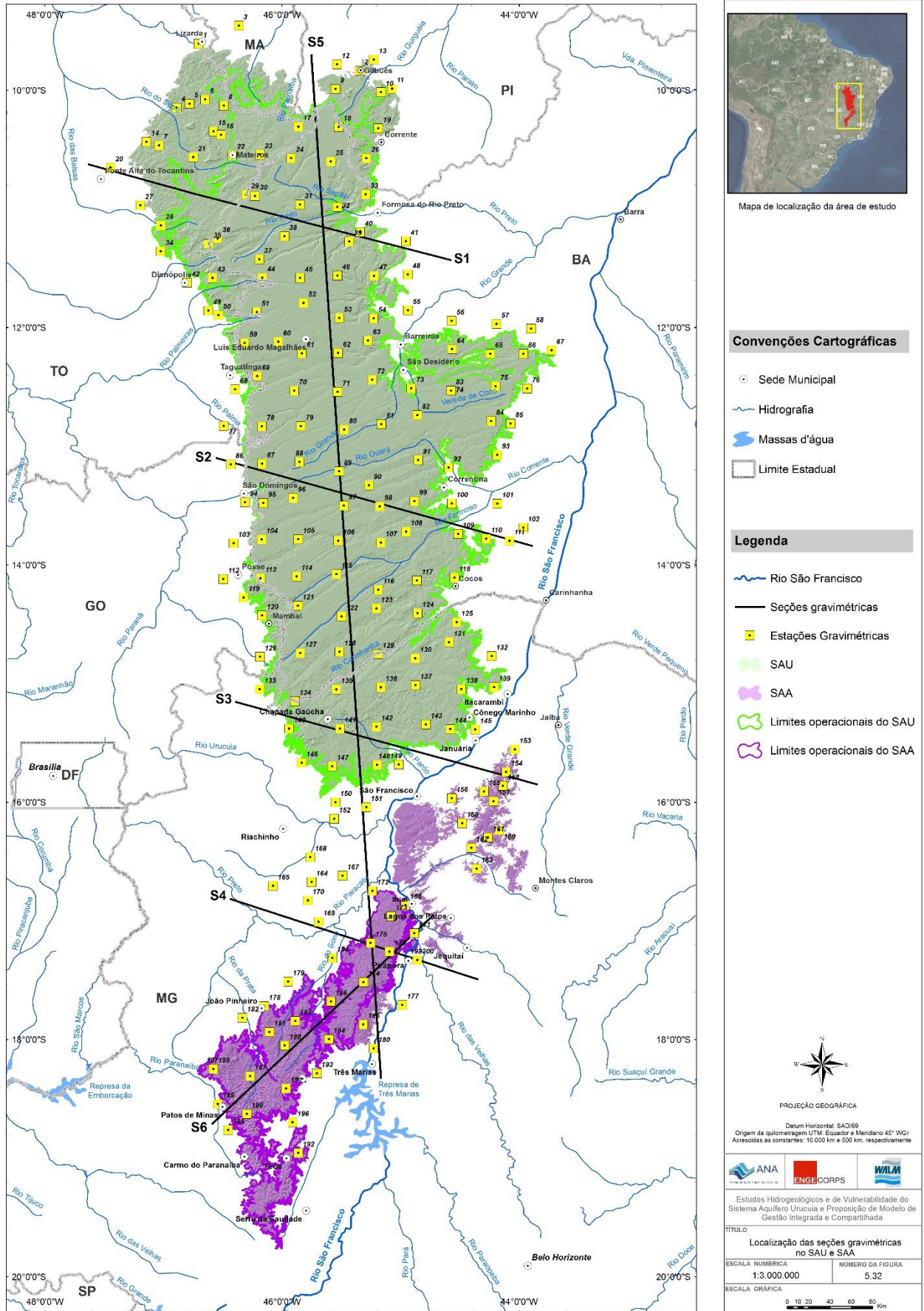


Figura 5.32 - Localização das seções gravimétricas no SAU.

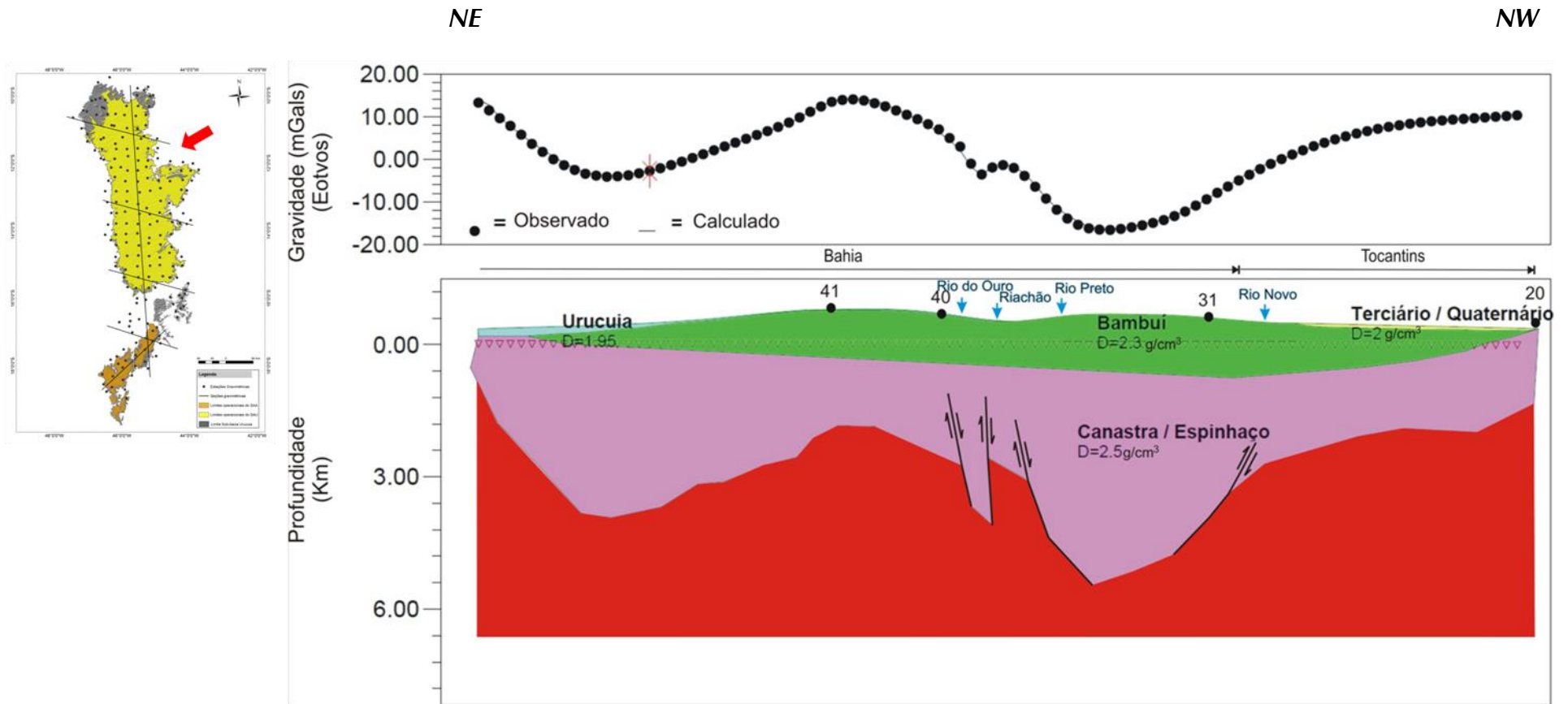


Figura 5.33 - Seção S1 modelada. A localização das estações gravimétricas (41, 40, 31 e 20) é indicada no gráfico de profundidade.

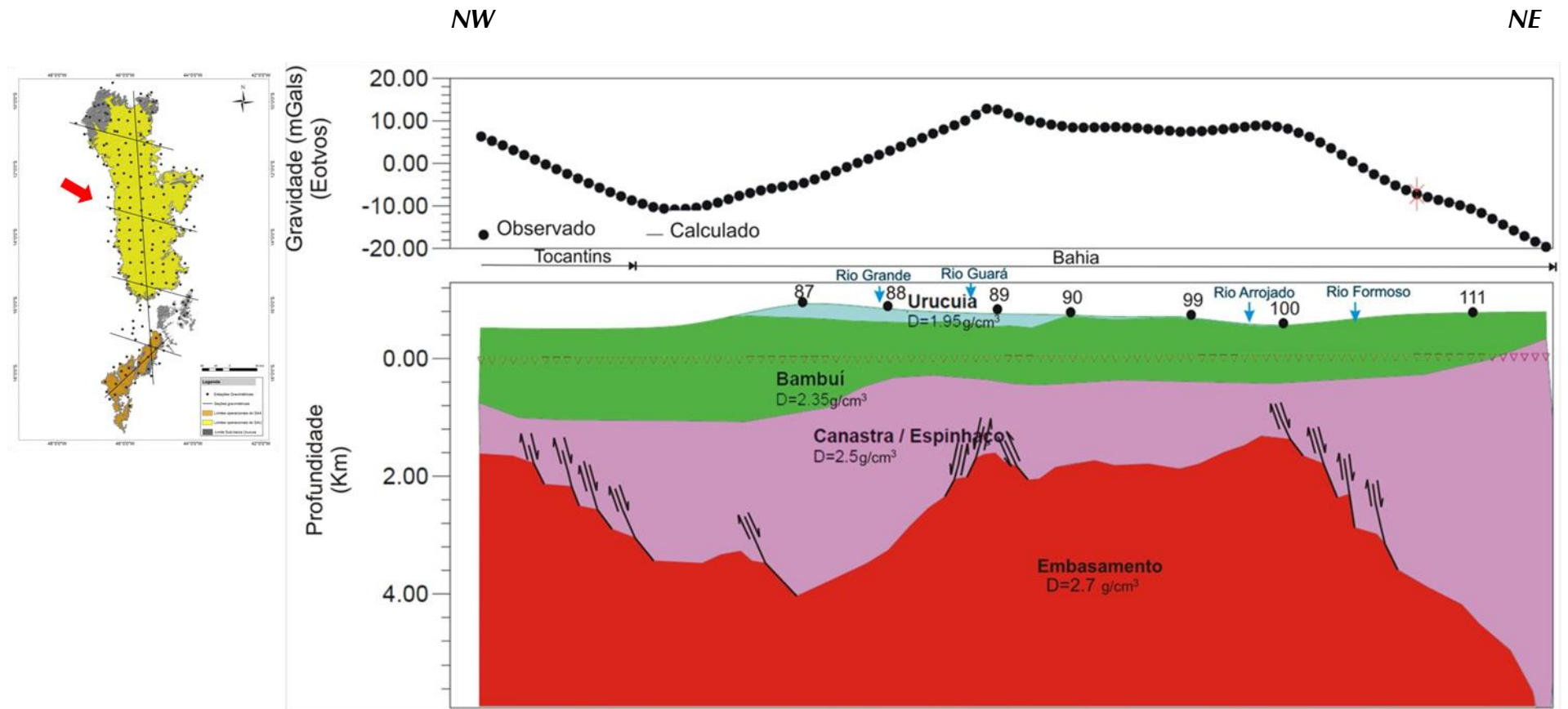


Figura 5.34 - Seção S2 modelada. A localização das estações gravimétricas (87, 88, 89, 90, 99, 100 e 111) é indicada no gráfico de profundidade.

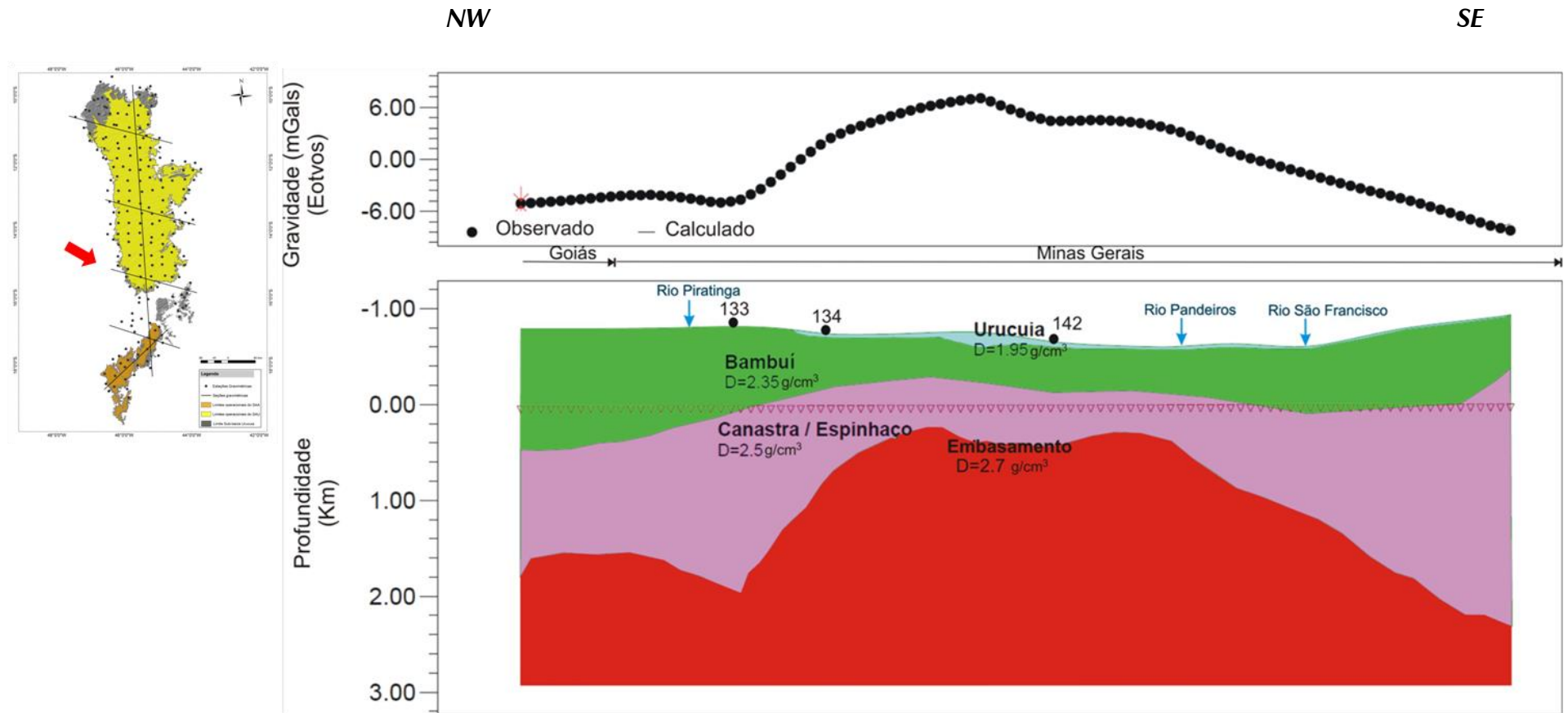


Figura 5.35 - Seção S3 modelada. A localização das estações gravimétricas (133, 134 e 142) é indicada no gráfico de profundidade.

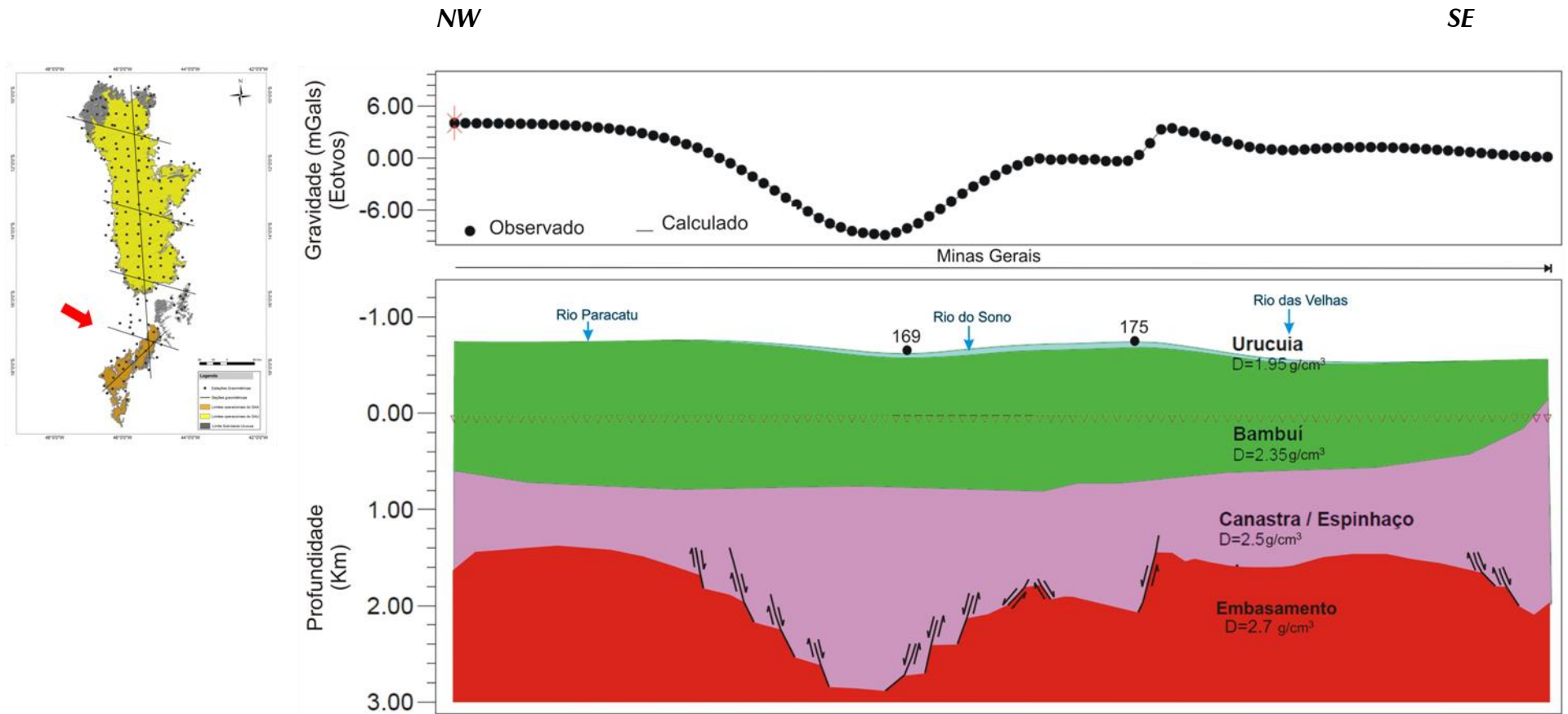


Figura 5.36 - Seção S4 modelada. A localização das estações gravimétricas (169 e 175) é indicada no gráfico de profundidade.

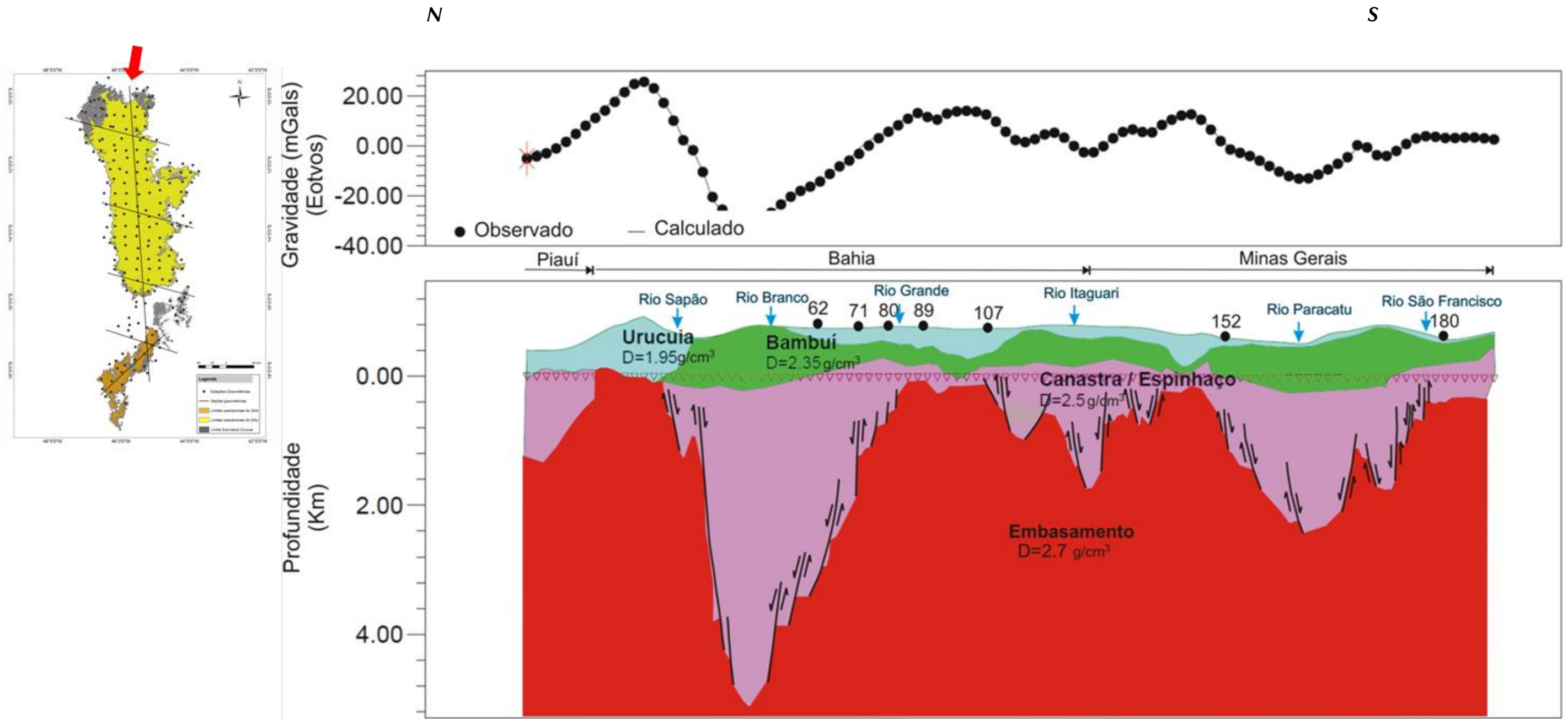


Figura 5.37 - Seção S5 modelada. A localização das estações gravimétricas (62, 71, 80, 89, 107, 152 e 180) é indicada no gráfico de profundidade.

6. CONCLUSÕES

A investigação geofísica de superfície utilizou três métodos distintos, com objetivo de determinar a distribuição espacial, espessura, compartimentação estratigráfica e estrutural do SAU, e sua relação com o embasamento. Foram utilizados os métodos de eletrorresistividade por meio da técnica de SEV, eletromagnético – TDEM – e gravimétrico.

A técnica de SEV forneceu dados sobre nível d'água, resistividades dos níveis geelétricos interpretados, associadas à litologia provável do local estudado (eletrofácies), espessuras das camadas, profundidades do topo de estratos geelétricos e cotas de topo de estratos geelétricos. O método eletromagnético – TDEM – forneceu dados de resistividade, espessuras das camadas e profundidades do topo de estratos. O método gravimétrico permitiu estimar a geometria e delimitar o comportamento do SAU.

O método de eletrorresistividade e o eletromagnético foram calibrados com alguns poços. A associação entre SEVs, sondagens TDEM e poços existentes não permitiu correlação efetiva, uma vez que os perfis desses poços descrevem sequências predominantemente arenosas, às quais não se intercalam litologias com contraste de resistividade significativa.

Por outro lado, SEVs interpretadas com apoio de informações geológicas indicaram a presença de rochas que podem ser relacionadas ao embasamento, em locais onde as descrições litológicas de poços não confirmam sua ocorrência. Uma das explicações aventadas para as respostas geelétricas distintas das SEVs deve-se à presença de metassedimentos do embasamento que poderiam ter sido considerados, nas descrições de poços, como sedimentos do Grupo Urucua.

Após a análise morfológica das 149 curvas das SEVs obtidas em campo foi possível identificar, em relação à resistividade, valores altos, típicos de sedimentos predominantemente arenosos, associados ao Grupo Urucua, e valores extremamente altos, associados ao Grupo Bambuí e ao embasamento constituído por rochas gnáissicas ou calcárias. No Grupo Urucua é possível identificar dois estratos principais, com ampla variação de resistividade de um local para outro. Devido a essa variação, esses estratos foram divididos em duas zonas: não saturada, referindo-se à porção localizada acima do nível d'água do Aquífero Urucua, e saturada, referindo-se à porção localizada abaixo do nível d'água, em que o substrato encontra-se totalmente saturado.

Para a zona não saturada (sedimentos superficiais), os valores de resistividade obtidos apresentam uma ampla gama de variação (32,95 ohm.m a 569.855,00 ohm.m). Os valores inferiores a 100 ohm.m, identificados nessa zona, provavelmente estão relacionados aos sedimentos argilosos do Grupo Urucua, ou a sedimentos arenosos inconsolidados saturados pela infiltração de água por precipitação (níveis suspensos). Já os valores superiores a 40.000,00 ohm.m correspondem, provavelmente, aos níveis conglomeráticos e/ou arenosos silicificados, comumente presentes no Grupo Urucua.

Para a zona saturada do Grupo Urucua, os diferentes níveis geelétricos obtidos foram agrupados em termos de litologia. A partir da correlação dos níveis geelétricos com a geologia

local foram identificadas as eletrofácies: predominantemente silto-argilosas, predominantemente areno-siltosas e predominantemente arenosas.

Com relação ao embasamento, as resistividades variaram de 26,50 ohm.m a 858.836,00 ohm.m. Valores de resistividade inferiores a 170 ohm.m estão relacionados, provavelmente, às rochas do Subgrupo Paraopeba, que é constituído por ardósias, argilitos, folhelhos e margas. Valores de resistividade superiores a 170 ohm.m podem ser correlacionados aos metassedimentos do Grupo Bambuí, incluindo margas e filitos com diferentes intensidades de alteração, e os superiores a 100.000 ohm.m podem estar relacionados ao embasamento constituído por calcários, quartzitos e por rochas gnáissicas.

A espessura do aquífero, segundo os dados interpretados nas SEVs, variou de 10 m (porção leste da área) a 317 m (porção noroeste da área); segundo os dados interpretados nas sondagens TDEM, variou de 2,5 m (porção leste da área) a 375 m (porção noroeste da área). Essa variação distinta nos valores máximo e mínimo das espessuras obtidas é inerente à ferramenta geofísica, pois a resolução varia de um método para outro. Essa variação se reflete no mapeamento dos contatos dos estratos que, por conseguinte, influencia na definição de espessuras e profundidades das camadas.

A seção geoeletrica elaborada de Norte para Sul mostra que a espessura do SAU diminui da porção Norte para Sul. Já as seções elaboradas de Oeste para Leste revelam espessuras contantes, variando conforme a topografia local. Os níveis conglomeráticos/silicificados ocorrem na zona não-saturada e mostraram-se contínuos somente na seção geoeletrica EF (SW-SE). A seção geoeletrica elaborada na sub-bacia Abaeté mostra continuidade na espessura do Areado.

A profundidade do lençol freático (NA), determinada a partir da definição entre as zonas não saturada e saturada nas SEVs, está situada entre 1 m (porção leste da área) e 159,8 m (porção oeste da área).

O modelamento gravimétrico utilizou valores de densidade de 1,9 g/cm³ para as rochas associadas ao Grupo Urucuia; 2,3 g/cm³ para as rochas que compõem o Grupo Bambuí; 2,5 g/cm³ para as rochas que compõem os Grupos Canastra e Espinhaço; e 2,7 g/cm³ para as rochas do embasamento cristalino. A partir do modelamento foram observadas quebras bruscas do relevo, tendo sido inferidos sistemas de falhas para justificar os desníveis existentes na geometria do contato entre o topo do embasamento e as rochas dos Grupos Espinhaço/Canastra.

Finalmente, nota-se que os diferentes métodos geofísicos aplicados nesse estudo atingiram o objetivo proposto, com as limitações inerentes a cada um. A utilização de mais de um método geofísico, juntamente com os dados de levantamento geológico, favoreceu a eliminação de ambiguidades que podem ocorrer em aquisições que utilizam métodos indiretos de investigação.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. 2007. Mapa de Domínios e Subdomínios Hidrogeológico do Brasil. CDROM.

MCNEIL, J. D. Use of Electromagnetic Methods for Groundwater Studies. In: Ward, S. H. 1990. Geotechnical and Environmental Geophysics, V. 1, Review and Tutorial. Society of Exploration Geophysics, TULSA, EUA, 1990.

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. Applied Geophysics. Second Edition, Cambridge University Press., 770 f, 1990.

TORGE, W. Gravimetry. Berlin, New York. Walter de Gruyter, 465 f, 1989.

ANEXO I – IDENTIFICAÇÃO DAS SEVS EXECUTADAS E MODELADAS

SEV	Leste (m)	Norte (m)	Altitude (m)
1	314418,937	8937806,163	388,746
2	364448,712	8924352,292	351,567
3	461887,943	8910894,535	423,321
4	475192,472	8923794,312	394,911
5	285071,182	8895467,688	281,487
6	342950,880	8885308,310	648,000
7	492151,843	8895908,145	447,523
8	259574,018	8864254,733	307,351
9	388612,900	8854288,240	793,000
10	442888,360	8860336,150	809,000
11	267560,075	8826301,511	437,984
12	345644,480	8833727,160	511,000
13	398735,610	8831511,730	766,000
14	398494,431	8901849,312	444,356
15	279510,703	8767607,119	521,979
16	371792,640	8796199,260	764,000
17	444247,129	8895855,447	469,287
18	332344,350	8756274,670	867,000
19	405093,130	8772262,080	609,000
20	483392,250	8759360,630	535,000
21	302571,092	8714883,675	655,684
22	374672,390	8723088,360	841,000
23	440555,870	8719013,300	767,000
24	337201,957	8682072,333	530,065
25	410939,290	8696579,980	790,000
26	474881,137	8690878,295	476,741
27	588083,153	8676544,861	447,345
28	341454,973	8655162,677	531,060
29	386463,540	8659559,120	826,000
30	442686,640	8649505,780	741,000
31	544183,700	8646290,690	739,000
32	612570,320	8648124,190	868,000
33	408068,200	8614686,800	774,000
34	513816,650	8612628,980	732,000
35	581257,420	8611421,390	829,000
36	334824,869	8584533,594	397,562
37	482601,760	8582947,630	726,000
38	509129,300	8575506,740	756,000
39	535918,120	8578967,280	759,000
40	585163,680	8585797,450	827,000
41	439737,900	8551462,970	781,000
42	519122,210	8550960,340	648,000
43	586558,740	8549965,980	737,000
44	374513,590	8510941,380	958,000
45	478547,020	8501499,400	709,000
46	547493,686	8513268,785	497,809
47	447662,810	8580219,240	768,000
48	354244,052	8473607,685	629,313
49	435371,580	8482312,050	813,000
50	511027,170	8481047,500	717,000

SEV	Leste (m)	Norte (m)	Altitude (m)
51	577093,990	8472133,690	787,000
52	407888,030	8440760,220	886,000
53	443233,080	8440399,330	821,000
54	512931,460	8437766,190	623,000
55	355547,144	8419032,105	766,220
56	474009,780	8415057,800	798,000
57	550698,360	8398471,940	642,000
58	408461,310	8415598,410	901,000
59	371976,011	8366248,532	786,030
60	443873,200	8369033,890	848,000
61	547074,920	8371657,240	790,000
62	404791,500	8337588,350	803,000
63	441688,560	8333439,180	769,000
64	509314,720	8333929,320	758,000
65	584969,690	8337768,550	774,000
66	401418,150	8296075,240	832,000
67	477497,240	8300459,790	643,000
68	522219,520	8303273,520	637,000
69	545153,880	8298433,400	690,000
70	443700,070	8264044,110	661,000
71	449036,680	8229634,030	659,000
72	469186,910	8227279,990	615,000
73	598656,117	8290186,985	495,267
74	595570,260	8258679,310	832,000
75	585682,860	8231488,500	835,000
76	592140,890	8245422,450	818,000
77	551532,900	8214089,380	818,000
78	578793,590	8197389,810	900,000
79	569377,940	8169641,900	826,000
80	419929,000	8156348,000	730,000
81	386431,000	8151564,000	772,000
82	426387,000	8118095,000	603,000
83	448113,000	8161940,000	650,000
84	494460,000	8124394,000	716,000
85	513309,000	8110855,000	537,000
86	466525,000	8063030,000	890,000
87	492028,000	8094321,000	687,000
88	377641,000	8038705,000	867,000
89	366195,000	7936241,000	919,000
90	381817,000	8016385,000	844,000
91	406941,000	8025154,000	808,000
92	464120,000	8026138,000	809,000
93	437483,000	8045122,000	807,000
94	364986,000	7974489,000	726,000
95	392609,000	8002716,000	817,000
96	339503,000	7946917,000	897,000
97	401916,000	7964004,000	820,000
98	291820,840	8863879,980	359,000
99	402003,000	7932540,000	894,000
100	448406,370	8505526,240	756,000

SEV	Leste (m)	Norte (m)	Altitude (m)
PAR-1	456220,000	8267301,000	640,000
PAR-2	368982,000	8457187,000	1001,000
PAR-3	459191,000	8660068,000	742,000
PAR-4	467102,000	8623083,000	691,000
NA	356142,061	8873257,749	619,847
NB	299510,451	8829459,410	477,411
NC	328601,814	8854937,205	451,542
ND	410174,574	8763715,482	768,750
NE	372852,497	8740192,453	832,116
NF	478753,044	8382077,750	820,772
NG	488951,826	8356221,396	815,665
S1	354475,512	8561385,455	670,540
S2	507054,198	8630746,862	619,780
S3	426887,581	8588436,245	769,669
S4	467423,034	8611229,171	687,293
S5	380632,017	8568072,506	886,419
S6	533893,046	8638976,505	705,321
S7	568433,503	8651344,536	735,940
S8	594042,589	8665777,002	787,178
S9	619300,589	8666332,447	519,787
S13	533710,524	8461438,823	704,780
S14	595605,376	8478937,930	813,789
S15	497107,337	8430672,705	773,425
N2	453412,481	8823334,626	773,901
N4	344770,746	8734021,857	867,239
N5	408493,393	8721984,886	802,848
N6	371780,575	8676344,612	847,167
N7	453735,201	8667532,408	719,259
N8	378651,294	8604806,647	865,672
N9	479180,071	8637513,662	726,027
N11	402616,624	8574547,973	829,116
N12	379253,889	8547325,396	910,886
N13	413931,410	8545892,550	839,001
N14	557050,387	8617574,700	781,887
N16	368418,132	8457284,075	998,002
N17	385418,475	8477751,698	928,502
N19	420692,385	8506360,507	815,109
N20	471773,110	8541181,001	764,333
N21	556034,145	8552406,119	699,249
N22	419281,729	8457628,551	851,129
N23	480407,881	8479379,132	717,333
N24	406275,973	8363812,384	876,798
N25	439628,806	8397912,490	843,494
N27	553224,201	8463945,610	758,629
N28	424788,224	8304881,301	871,680
N29	477299,363	8341508,443	818,568
N30	538833,444	8344488,340	799,237
ST1	514494,589	8594608,275	741,708
ST3	476544,260	8767040,403	652,690

ANEXO II - DADOS DE CAMPO - SEVS

A seguir encontram-se as informações referentes aos dados de campo obtidos para a Sondagem Elétrica Vertical SEV - 01. As demais SEVs encontram-se no material digital.

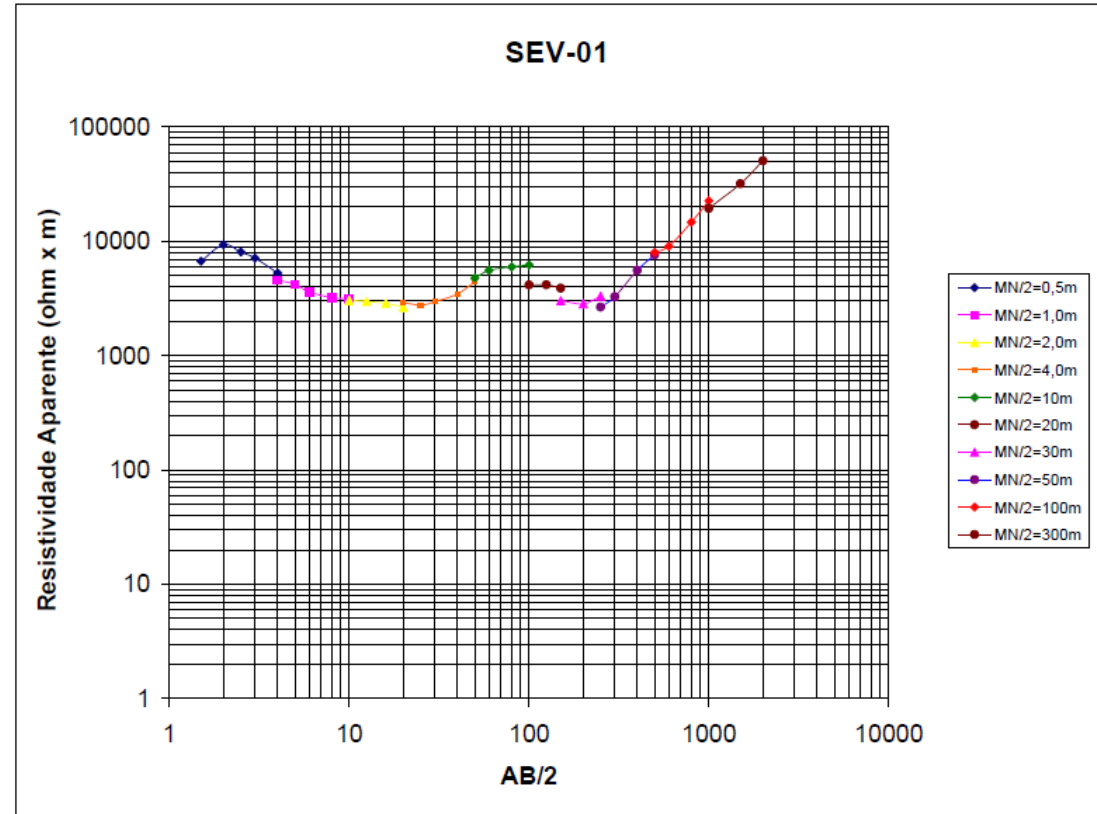
Sondagem elétrica vertical - SEV - 01

Projeto: PRJ_178_ENGECORPS_ANA
 Local: Lizarda/TO
 Data: 24/2/2012



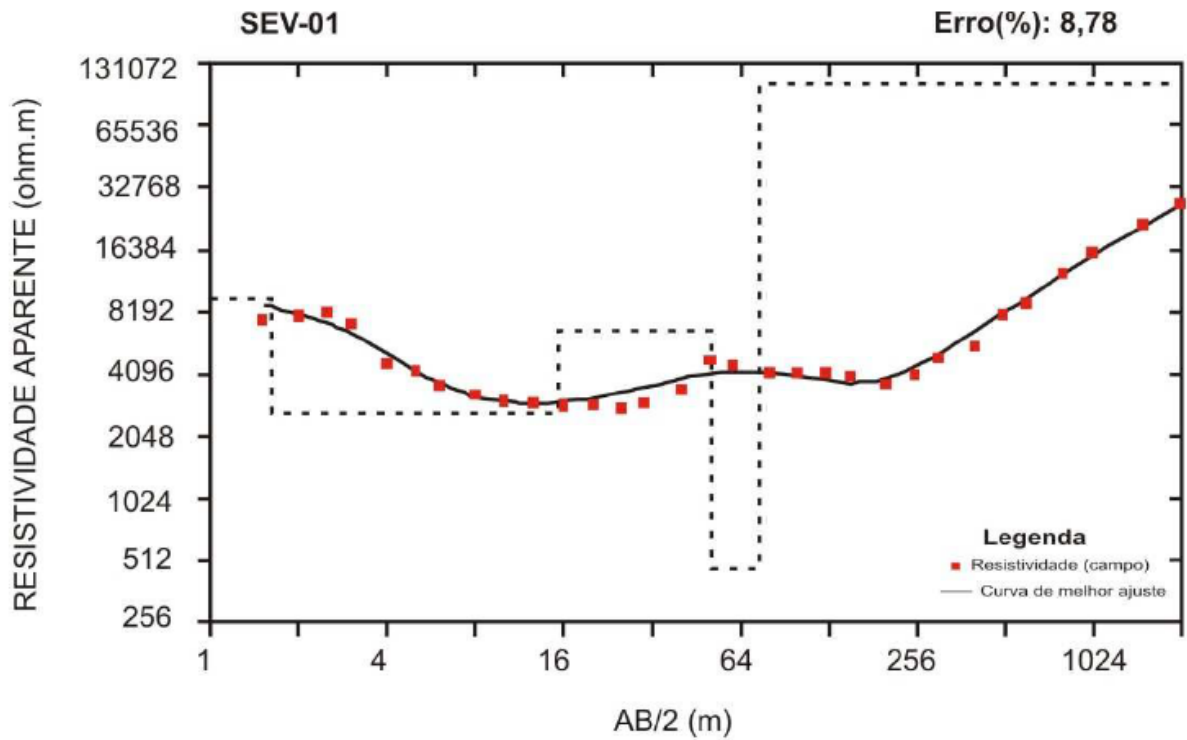
Cota: 388.746
 N: 8937806.163
 E: 314418.937
 Erro GPS

cor	AB/2	MN/2	K	ΔV	I	pa
verde/azul	1.5	0.5	6.28	17363.132	16.256	6711.108
azul/vermelho	2.0	0.5	11.78	12449.66	15.686	9350.319
vermelho/verde	2.5	0.5	18.85	5572.297	13.006	8075.913
verde/preto	3.0	0.5	27.49	3630.202	13.973	7141.658
preto/verde	4.0	0.5	49.48	1990.92	18.67	5276.427
preto/verde	4.0	1	23.56	3894.517	19.996	4589.038
verde/azul	5.0	1	37.70	1892.032	16.92	4215.598
azul/vermelho	6.0	1	54.98	922.724	14.075	3604.22
vermelho/preto	8.0	1	98.96	411.204	12.63	3221.917
preto/azul	10.0	1	155.51	281.896	13.934	3146.069
preto/azul	10.0	2	75.40	478.89	11.929	3026.864
azul/vermelho	12.5	2	119.58	325.431	13.108	2968.723
vermelho/preto	16.0	2	197.92	238.702	16.469	2868.661
preto/verde	20.0	2	311.02	97.399	11.406	2655.866
preto/verde	20.0	4	150.80	230.091	11.883	2919.878
verde/azul	25.0	4	239.15	221.042	19.079	2770.744
azul/vermelho	30.0	4	347.15	148.453	17.313	2976.657
vermelho/preto	40.0	4	622.04	130.385	23.431	3461.401
preto/verde	50.0	4	975.46	89.003	19.64	4420.53
preto/verde	50.0	10	376.99	256.723	20.319	4763.14
verde/azul	60.0	10	549.78	168.197	16.619	5564.18
azul/vermelho	80.0	10	989.60	113.969	18.839	5986.73
vermelho	100.0	10	1555.09	83.575	20.881	6224.152
vermelho	100.0	20	753.98	116.481	21.113	4159.741
	125.0	20	1195.77	39.988	11.462	4171.733
	150.0	20	1735.73	18.729	8.352	3892.3
	150.0	30	1130.97	21.67	8.075	3035.07
	200.0	30	2047.27	36.015	25.991	2836.846
	250	30	3225.37	62.832	61.048	3319.623
	250	50	1884.96	70.721	50.065	2662.657
	300	50	2748.89	46.486	39.016	3275.196
	400	50	4948.01	58.046	51.367	5591.374
	500	50	7775.44	17.046	17.375	7628.212
	500	100	3769.91	38.736	18.2	8023.697
	600	100	5497.79	27.456	16.655	9063.179
	800	100	9896.02	59.666	40.139	14710.28
	1000	100	15550.88	58.782	40.466	22589.63
	1000	300	4764.75	151.709	37.233	19414.37
	1500	300	11309.73	188.703	66.791	31953.12
	2000	300	20472.71	195.889	79.263	50595.85



ANEXO III – MODELOS GEOELÉTRICOS - SEVS

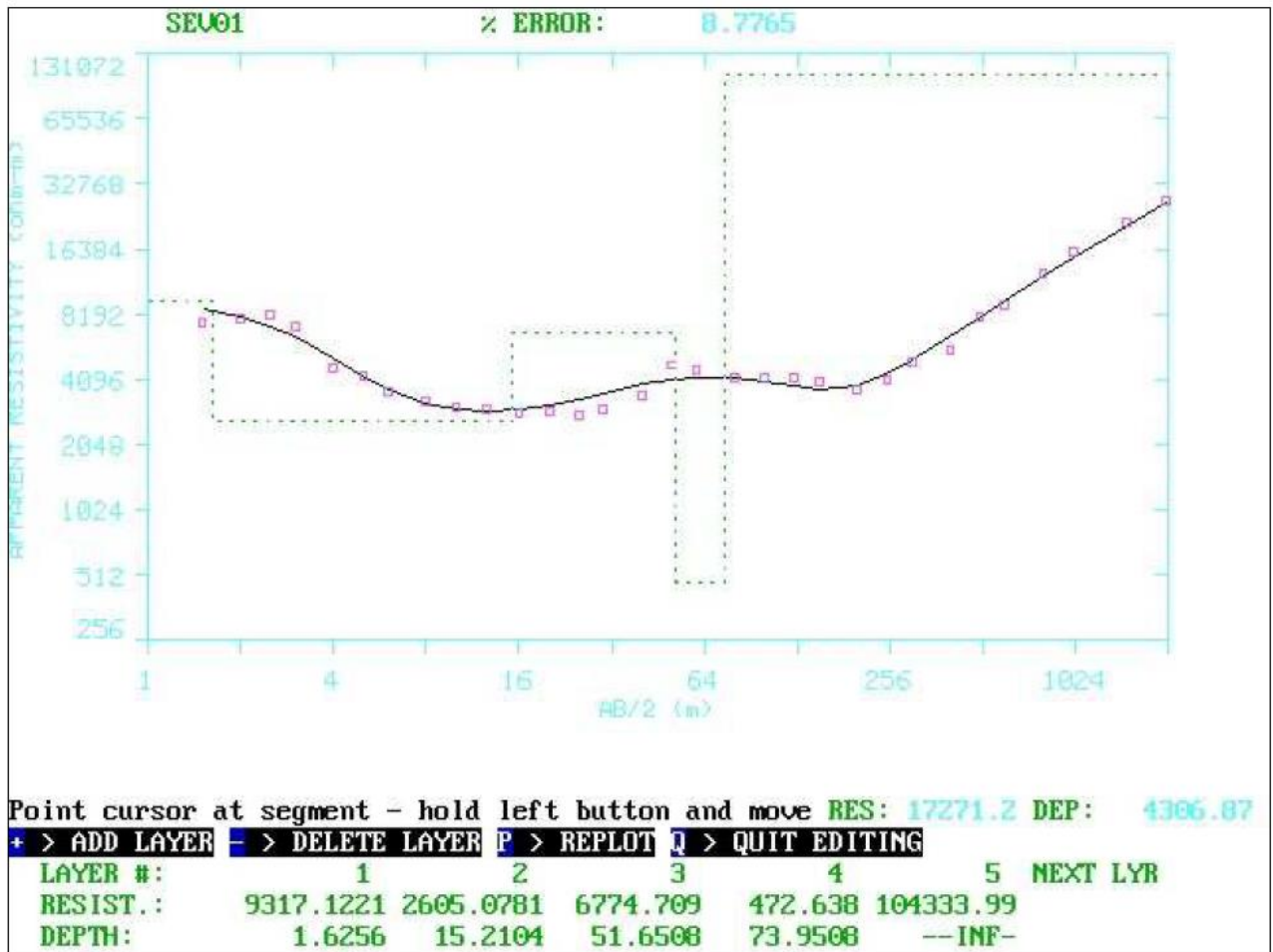
A seguir encontram-se as informações referentes à Sondagem Elétrica Vertical SEV - 01. As demais SEVs encontram-se no material digital.



Nível Geométrico	Resistividade (ohm.m)	Espessura (m)	Profundidade (m)	Descrição
1	9317,12	1,63	1,63	
2	2605,08	13,58	15,21	
3	6774,71	36,44	51,65	Grupo Balsas
4	472,64	22,30	73,95	(arenito, folhelho, siltito, calcário)
5	104333,99			

ANEXO IV – CURVAS MODELADAS - SEVS

A seguir encontram-se as informações referentes à Sondagem Elétrica Vertical SEV - 01. As demais SEVs encontram-se no material digital.



***ANEXO V – IDENTIFICAÇÃO DOS ENSAIOS TDEM
EXECUTADOS E MODELADOS E A ESPESSURA DO
SAU***

TDEM	Leste (m)	Norte (m)	Altitude (m)	Espessura do SAU	RMS %
TEM-1	313082,610	8937478,480	408,520	fora da sub-bacia Urucuia	0,97
TEM-2	462371,800	8912557,100	466,103	27,8	2,56
TEM-3	350315,210	8954392,320	487,418	fora da sub-bacia Urucuia	1,91
TEM-4	292994,270	8877631,560	325,501	42,7	2,46
TEM-5	305029,910	8881493,510	412,926	36,5	3,00
TEM-6	319459,490	8885518,120	489,733	131,2	3,09
TEM-7	277012,850	8842351,870	526,325	183	2,05
TEM-8	336727,920	8879940,350	520,267	48,6	4,02
TEM-9	439846,220	8895686,400	425,826	48	0,94
TEM-10	481855,550	8892726,100	470,773	18,5	0,97
TEM-11	492193,260	8895960,710	463,134	30,8	1,92
TEM-12	441339,430	8918679,820	354,071	fora da sub-bacia Urucuia	1,59
TEM-13	475401,390	8923150,840	398,347	fora da sub-bacia Urucuia	1,03
TEM-14	265431,820	8845623,550	397,649	sem contraste	2,29
TEM-15	327347,740	8855846,850	404,207	16	1,83
TEM-16	334263,320	8852472,370	432,739	34,1	0,92
TEM-17	405732,660	8860382,700	797,325	227,2	1,03
TEM-18	442917,510	8860380,990	782,808	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-19	479441,720	8859064,580	807,783	77,5	2,41
TEM-20	232396,510	8821341,700	518,055	fora da sub-bacia Urucuia	0,92
TEM-21	308621,420	8831535,680	369,491	29,8	2,31
TEM-22	344648,770	8833671,300	408,456	172,7	1,43
TEM-23	370139,840	8834399,290	516,371	138	2,37
TEM-24	399061,380	8831087,200	687,266	232,6	2,43
TEM-25	435656,250	8828112,710	763,158	90,1	1,65
TEM-26	468522,550	8831181,250	788,809	117,1	2,30
TEM-27	260231,300	8786237,050	506,043	fora da sub-bacia Urucuia	1,25
TEM-28	279238,650	8767767,110	401,894	116,4	3,09
TEM-29	357682,810	8797002,280	539,950	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-30	365792,380	8795566,610	781,537	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-31	407238,290	8787900,030	776,316	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-32	441747,870	8785582,030	753,815	33,3	0,93
TEM-33	467892,620	8797394,710	508,853	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-34	279236,610	8743687,460	739,836	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-35	323309,370	8750664,310	545,066	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-36	331511,320	8755912,160	889,628	8,8	1,44
TEM-37	369955,160	8736649,730	867,030	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-38	393149,660	8758168,950	837,900	76,6	1,90
TEM-39	452764,590	8753421,310	789,628	32,2	1,71
TEM-40	462679,840	8762149,770	557,636	22,3	1,99
TEM-41	505004,000	8753907,430	660,098	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-42	303718,540	8714478,160	664,283	fora da sub-bacia Urucuia	2,15
TEM-43	327082,620	8719034,970	650,338	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-44	372940,780	8719516,910	694,555	366,7	1,14
TEM-45	407536,850	8719475,740	839,341	sem contraste	1,08
TEM-46	441994,470	8721679,810	800,173	sem contraste	1,53
TEM-47	475734,120	8721442,760	766,041	40,3	3,58
TEM-48	506689,930	8722699,580	605,110	fora da sub-bacia Urucuia	4,32
TEM-49	323572,440	8688614,230	476,797	fora da sub-bacia Urucuia	3,05
TEM-50	332612,520	8684315,200	676,928	38,2	2,82

TDEM	Leste (m)	Norte (m)	Altitude (m)	Espessura do SAU	RMS %
TEM-51	367888,680	8687332,850	601,081	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-52	410952,310	8696068,020	828,935	242	3,24
TEM-53	443809,930	8682192,270	786,976	148,1	7,40
TEM-54	475209,600	8681884,010	751,939	sem contraste	2,86
TEM-55	506847,970	8689375,250	738,363	fora da sub-bacia Urucuia	1,90
TEM-56	547031,080	8679523,810	765,660	fora da sub-bacia Urucuia	2,59
TEM-57	588126,530	8676596,800	451,698	fora da sub-bacia Urucuia	2,55
TEM-58	619965,150	8672110,360	463,192	fora da sub-bacia Urucuia	3,23
TEM-59	356812,040	8658601,760	495,599	sem contraste	5,77
TEM-60	387779,510	8659775,260	875,343	54,7	7,71
TEM-61	409530,600	8649095,820	818,964	52,3	4,82
TEM-62	442741,290	8649594,620	781,556	118,1	3,11
TEM-63	470047,420	8661104,660	739,014	35,8	2,85
TEM-64	547282,750	8653256,460	709,857	34,6	2,25
TEM-65	582339,260	8648741,570	707,689	110	0,92
TEM-66	612670,470	8648594,160	738,637	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-67	638615,900	8651834,390	798,709	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-68	348414,050	8615344,010	864,354	fora da sub-bacia Urucuia	2,84
TEM-69	368649,250	8627717,910	502,964	224,7	2,13
TEM-70	402566,450	8614200,280	544,809	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-71	442346,120	8613299,130	885,632	sem contraste	2,06
TEM-72	473969,360	8624505,000	787,364	sem contraste	2,87
TEM-73	509872,130	8616580,120	743,839	47,8	2,07
TEM-74	546247,190	8614479,290	707,181	26,3	2,44
TEM-75	587101,820	8618417,180	581,241	23,4	1,02
TEM-76	616078,870	8616239,310	766,900	fora da sub-bacia Urucuia	2,18
TEM-77	338116,000	8581134,340	829,191	fora da sub-bacia Urucuia	1,06
TEM-78	373039,250	8580930,020	485,063	30,3	2,95
TEM-79	408772,400	8581212,160	417,580	121,5	5,32
TEM-80	448478,600	8578049,170	904,328	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-81	482532,160	8583254,060	807,005	2,1	2,06
TEM-82	515360,600	8591592,490	763,433	133,6	4,06
TEM-83	546247,190	8614479,290	726,411	58,5	1,74
TEM-84	582978,770	8586024,950	741,983	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-85	600799,670	8583750,310	769,191	19,3	3,58
TEM-86	344811,700	8545364,930	822,421	fora do Urucuia	1,92
TEM-87	373463,420	8545952,200	699,058	21,4	1,41
TEM-88	407682,640	8547913,660	707,933	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-89	443778,550	8539306,320	939,623	47,7	1,24
TEM-90	471121,090	8526170,540	823,123	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-91	516085,010	8549802,470	759,818	74	1,58
TEM-92	543935,160	8542687,110	746,772	fora da sub-bacia Urucuia	1,73
TEM-93	588385,060	8554569,660	642,130	fora da sub-bacia Urucuia	1,05
TEM-94	357968,750	8510048,940	579,295	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-95	374799,690	8509466,970	645,686	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-96	401936,590	8514306,530	737,839	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-97	448099,130	8507322,770	952,889	57,9	9,65
TEM-98	481061,350	8506583,280	853,767	31	3,24
TEM-99	512717,140	8511486,150	724,029	18,9	2,38
TEM-100	546776,150	8509362,880	678,387	fora da sub-bacia Urucuia	0,82

TDEM	Leste (m)	Norte (m)	Altitude (m)	Espessura do SAU	RMS %
TEM-101	588465,010	8509036,460	704,493	fora da sub-bacia Urucua	0,66
TEM-102	611973,710	8486326,060	523,268	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-103	347774,440	8471716,300	679,750	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-104	373347,080	8475558,460	766,690	183,8	1,00
TEM-105	406795,130	8475878,790	708,184	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-106	443229,260	8474467,230	974,271	20,4	1,38
TEM-107	482077,630	8472688,930	865,008	60,3	1,29
TEM-108	505076,600	8483088,800	744,456	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-109	552506,570	8480925,740	744,642	fora do Urucua	0,96
TEM-110	578153,490	8476214,340	686,928	16,7	0,97
TEM-111	599458,930	8474295,540	647,667	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-112	338689,250	8438423,530	761,521	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-113	372480,260	8439374,000	779,295	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-114	405376,020	8441191,460	772,101	9,1	1,84
TEM-115	441734,290	8443420,740	984,706	17,8	1,39
TEM-116	479824,420	8428830,970	895,934	24,2	0,65
TEM-117	515005,560	8437524,080	742,695	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-118	549092,640	8440151,030	762,364	fora da sub-bacia Urucua	0,85
TEM-119	357252,120	8421201,320	612,597	fora da sub-bacia Urucua	2,59
TEM-120	374098,800	8404646,730	677,397	153,8	2,14
TEM-121	406571,800	8413901,380	769,320	134,5	1,18
TEM-122	446396,770	8403975,480	755,365	86,3	0,99
TEM-123	478045,580	8411367,890	904,785	sem contraste	0,96
TEM-124	515531,300	8406991,610	825,520	31,8	2,40
TEM-125	551022,120	8398648,300	671,155	41,8	1,25
TEM-126	372499,370	8366117,500	654,746	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-127	409035,810	8369682,500	632,208	34,3	1,08
TEM-128	444677,420	8371000,460	799,165	74,6	1,10
TEM-129	479430,780	8368885,960	901,563	sem contraste	1,16
TEM-130	513390,250	8364891,950	829,607	37,7	1,06
TEM-131	544104,670	8379843,160	676,174	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-132	582673,450	8366803,220	689,387	fora da sub-bacia Urucua	1,02
TEM-133	372357,720	8335829,720	706,423	47,9	1,35
TEM-134	404202,050	8324770,430	553,095	21,1	1,00
TEM-135	441995,230	8335779,130	817,148	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-136	482178,700	8337800,230	719,756	sem contraste	1,66
TEM-137	513551,480	8339960,460	722,159	5,9	2,62
TEM-138	555210,410	8335966,500	822,778	56,8	1,91
TEM-139	584872,170	8337935,440	801,331	34,4	1,02
TEM-140	399182,910	8299130,230	756,773	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-141	445041,900	8299334,080	773,377	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-142	478299,100	8301266,910	856,273	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-143	522985,940	8303235,990	790,401	35,9	1,54
TEM-144	544920,900	8298866,880	617,907	46,8	0,97
TEM-145	567674,140	8298496,560	619,874	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-146	410594,350	8267392,920	682,427	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-147	438236,090	8264250,520	522,276	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-148	478803,360	8265598,090	741,411	53,5	1,10
TEM-149	498532,440	8266061,760	642,142	fora da sub-bacia Urucua	1,34
TEM-150	441248,430	8230725,590	589,613	23,5	1,43

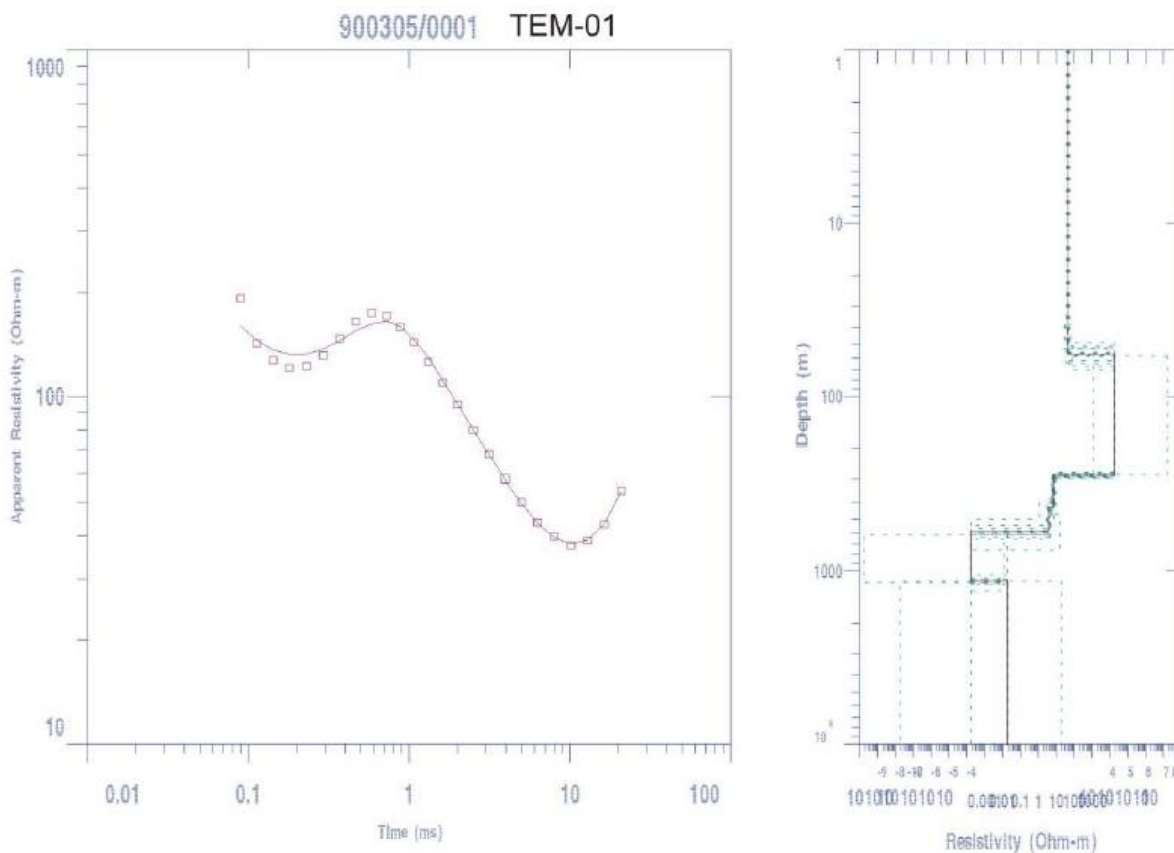
TDEM	Leste (m)	Norte (m)	Altitude (m)	Espessura do SAU	RMS %
TEM-151	469063,260	8226115,950	523,686	41,7	1,23
TEM-152	440174,500	8215329,560	622,375	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-153	603337,520	8279752,590	591,108	30,3	1,06
TEM-154	595496,250	8258672,930	578,868	38,3	1,24
TEM-155	575332,030	8240674,190	776,545	38,3	1,58
TEM-156	546269,110	8234410,760	833,809	46,5	1,03
TEM-157	583923,200	8231560,620	786,686	38,1	1,16
TEM-158	592417,570	8245797,800	699,768	48,2	0,94
TEM-159	555572,930	8211107,370	835,291	49,2	0,99
TEM-160	588878,230	8204643,760	819,872	64,8	1,11
TEM-161	578844,440	8197747,490	759,423	35,3	0,81
TEM-162	563885,230	8188199,820	880,346	33,7	1,57
TEM-163	568459,060	8168572,280	897,022	38,6	1,42
TEM-164	420022,660	8156302,420	707,731	53,5	1,50
TEM-165	385379,670	8152428,200	822,816	61,9	1,73
TEM-166	504309,920	8134766,710	730,173	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-167	447853,630	8162261,880	786,541	fora da sub-bacia Urucuia	1,00
TEM-168	418771,690	8179393,440	503,043	fora da sub-bacia Urucuia	1,20
TEM-169	426436,790	8119035,480	636,137	33,8	1,22
TEM-170	416796,750	8138945,960	550,133	46,7	0,93
TEM-171	512416,800	8108624,010	596,717	fora da sub-bacia Urucuia	1,09
TEM-172	474690,130	8148132,490	726,997	fora da sub-bacia Urucuia	0,86
TEM-173	491489,110	8124389,450	529,781	32,4	1,05
TEM-174	466783,230	8062864,310	472,482	110,1	1,36
TEM-175	473154,800	8099552,100	714,848	37,7	0,86
TEM-176	490073,910	8091425,920	881,898	35,2	1,31
TEM-177	501633,200	8041709,260	694,271	fora da sub-bacia Urucuia	1,99
TEM-178	377960,120	8040187,480	720,512	45,7	1,18
TEM-179	399376,180	8063247,350	538,697	fora da sub-bacia Urucuia	1,32
TEM-180	475979,550	8001091,370	814,434	fora da sub-bacia Urucuia	0,93
TEM-181	382853,420	8016173,600	594,098	56,3	0,90
TEM-182	358623,800	8029179,790	571,610	fora da sub-bacia Urucuia	1,42
TEM-183	405891,920	8026477,110	848,343	20,2	1,69
TEM-184	435991,600	8009726,830	621,969	37,2	1,10
TEM-185	466720,570	8023455,800	828,477	145,9	1,68
TEM-186	437703,130	8044726,040	848,492	46,6	1,58
TEM-187	365839,480	7974812,510	796,980	41,5	1,01
TEM-188	396557,760	8003699,190	810,967	32,3	1,54
TEM-189	337347,510	7948633,100	776,558	37,4	1,44
TEM-190	363182,760	7939620,080	823,058	109,6	1,87
TEM-191	397957,830	7963512,710	817,469	180,4	0,61
TEM-192	409095,260	7903441,230	1077,267	23,7	1,06
TEM-193	425398,890	7977923,380	894,107	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-194	438864,290	8085320,790	934,888	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-195	346717,570	7924481,320	720,655	fora da sub-bacia Urucuia	0,92
TEM-196	404053,940	7931969,540	736,436	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-197	333035,130	7981230,190	848,176	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-198	515053,230	8083527,450	980,019	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-199	333035,130	7981230,190	1008,358	ruído na aquisição/não interpretou	----
TEM-200	515053,230	8083527,450	557,605	46,5	1,47

ANEXO VI – DADOS DE CAMPO - TDEM

Todas as informações referentes aos dados de Campo de TDEM encontram-se no material digital.

ANEXO VII – CURVAS MODELADAS - TDEM

A seguir encontram-se as informações referentes à curva TEM 01. As demais informações encontram-se no material digital.



DATASET: TEM-01 NORTH: 1.00 EAST: 900205.00 ELEVATION: 0.00

LAYER	RESISTIVITY	THICKNESS	DEPTH	ELEVATION	COND. LONG.	T. RESIST.
1	46.2	41.6	41.6	-41.6	0.9	1925.5
2	43.8	15.3	57.0	-57.0	0.4	670.7
3	17397.2	227.1	284.0	-284.0	0.0	3950655.5
4	6.9	146.8	430.8	-430.8	21.2	1016.7
5	3.8	161.6	592.5	-592.5	42.4	615.5
6	0.0	546.6	1139.0	-1139.0	3208519.5	0.1
7	0.0					

ANEXO VIII – IDENTIFICAÇÃO DAS ESTAÇÕES GRAVIMÉTRICAS

GRA	Leste (m)	Norte (m)	Altitude (m)	GRAV	Leste (m)	Norte (m)	Altitude (m)	GRAV	Leste (m)	Norte (m)	Altitude (m)
1	313082,61	8937478,48	408,52	68	348414,05	8615344,01	864,35	134	404202,05	8324770,43	553,10
2	462371,80	8912557,10	466,10	69	368649,25	8627717,91	502,96	135	441995,23	8335779,13	817,15
3	350315,21	8954392,32	487,42	70	402566,45	8614200,28	544,81	136	482178,70	8337800,23	719,76
4	292994,27	8877631,56	325,50	71	442346,12	8613299,13	885,63	137	513551,48	8339960,46	722,16
5	305029,91	8881493,51	412,93	72	473969,36	8624505,00	787,36	138	555210,41	8335966,50	822,78
6	319459,49	8885518,12	489,73	73	509872,13	8616580,12	743,84	139	584872,17	8337935,44	801,33
7	277012,85	8842351,87	526,33	74	546247,19	8614479,29	707,18	140	399182,91	8299130,23	756,77
8	336727,92	8879940,35	520,27	75	587101,82	8618417,18	581,24	142	478299,10	8301266,91	856,27
9	439846,22	8895686,40	425,83	76	616078,87	8616239,31	766,90	143	522985,94	8303235,99	790,40
10	481855,55	8892726,10	470,77	77	338116,00	8581134,34	829,19	144	544920,90	8298866,88	617,91
11	492193,26	8895960,71	463,13	78	373039,25	8580930,02	485,06	145	567674,14	8298496,56	619,87
12	441339,43	8918679,82	354,07	79	408772,40	8581212,16	417,58	146	410594,35	8267392,92	682,43
13	475401,39	8923150,84	398,35	80	448478,60	8578049,17	904,33	147	438236,09	8264250,52	522,28
14	265431,82	8845623,55	397,65	81	482532,16	8583254,06	807,01	148	478803,36	8265598,09	741,41
15	327347,74	8855846,85	404,21	82	515360,60	8591592,49	763,43	149	498532,44	8266061,76	642,14
16	334263,32	8852472,37	432,74	83	546247,19	8614479,29	726,41	150	441248,43	8230725,59	589,61
17	405732,66	8860382,70	797,33	84	582978,77	8586024,95	741,98	151	469063,26	8226115,95	523,69
18	442917,51	8860380,99	782,81	85	600799,67	8583750,31	769,19	152	440174,50	8215329,56	622,38
19	479441,72	8859064,58	807,78	86	344811,70	8545364,93	822,42	153	603337,52	8279752,59	591,11
20	232396,51	8821341,70	518,06	87	373463,42	8545952,20	699,06	154	595496,25	8258672,93	578,87
21	308621,42	8831535,68	369,49	88	407682,64	8547913,66	707,93	155	575332,03	8240674,19	776,55
22	344648,77	8833671,30	408,46	89	443778,55	8539306,32	939,62	156	546269,11	8234410,76	833,81
23	370139,84	8834399,29	516,37	90	471121,09	8526170,54	823,12	157	583923,20	8231560,62	786,69
24	399061,38	8831087,20	687,27	91	516085,01	8549802,47	759,82	158	592417,57	8245797,80	699,77
25	435656,25	8828112,71	763,16	92	543935,16	8542687,11	746,77	159	555572,93	8211107,37	835,29
26	468522,55	8831181,25	788,81	93	588385,06	8554569,66	642,13	160	588878,23	8204643,76	819,87
27	260231,30	8786237,05	506,04	94	357968,75	8510048,94	579,30	161	578844,44	8197747,49	759,42
28	279238,65	8767767,11	401,89	95	374799,69	8509466,97	645,69	162	563885,23	8188199,82	880,35
29	357682,81	8797002,28	539,95	96	401936,59	8514306,53	737,84	163	568459,06	8168572,28	897,02
30	365792,38	8795566,61	781,54	97	448099,13	8507322,77	952,89	164	420022,66	8156302,42	707,73
31	407238,29	8787900,03	776,32	98	481061,35	8506583,28	853,77	165	385379,67	8152428,20	822,82
32	441747,87	8785582,03	753,82	99	512717,14	8511486,15	724,03	166	504309,92	8134766,71	730,17
33	467892,62	8797394,71	508,85	100	546776,15	8509362,88	678,39	167	447853,63	8162261,88	786,54
34	279236,61	8743687,46	739,84	101	588465,01	8509036,46	704,49	168	418771,69	8179393,44	503,04
35	323309,37	8750664,31	545,07	102	611973,71	8486326,06	523,27	169	426436,79	8119035,48	636,14
36	331511,32	8755912,16	889,63	103	347774,44	8471716,30	679,75	170	416796,75	8138945,96	550,13
37	369955,16	8736649,73	867,03	104	373347,08	8475558,46	766,69	171	512416,80	8108624,01	596,72
38	393149,66	8758168,95	837,90	105	406795,13	8475878,79	708,18	172	474690,13	8148132,49	727,00
39	452764,59	8753421,31	789,63	106	443229,26	8474467,23	974,27	173	491489,11	8124389,45	529,78
40	462679,84	8762149,77	557,64	107	482077,63	8472688,93	865,01	174	466783,23	8062864,31	472,48
41	505004,00	8753907,43	660,10	108	505076,60	8483088,80	744,46	175	473154,80	8099552,10	714,85
42	303718,54	8714478,16	664,28	109	552506,57	8480925,74	744,64	176	490073,91	8091425,92	881,90
43	327082,62	8719034,97	650,34	110	578153,49	8476214,34	686,93	177	501633,20	8041709,26	694,27
44	372940,78	8719516,91	694,56	111	599458,93	8474295,54	647,67	178	377960,12	8040187,48	720,51
45	407536,85	8719475,74	839,34	112	338689,25	8438423,53	761,52	179	399376,18	8063247,35	538,70
46	441994,47	8721679,81	800,17	113	372480,26	8439374,00	779,30	180	475979,55	8001091,37	814,43
47	475734,12	8721442,76	766,04	114	405376,02	8441191,46	772,10	181	382853,42	8016173,60	594,10
48	506689,93	8722699,58	605,11	115	441734,29	8443420,74	984,71	182	358623,80	8029179,79	571,61
49	323572,44	8688614,23	476,80	116	479824,42	8428830,97	895,93	183	405891,92	8026477,11	848,34
50	332612,52	8684315,20	676,93	117	515005,56	8437524,08	742,70	184	435991,60	8009726,83	621,97
51	367888,68	8687332,85	601,08	118	549092,64	8440151,03	762,36	185	466720,57	8023455,80	828,48
52	410952,31	8696068,02	828,94	119	357252,12	8421201,32	612,60	186	437703,13	8044726,04	848,49
53	443809,93	8682192,27	786,98	120	374098,80	8404646,73	677,40	187	365839,48	7974812,51	796,98
54	475209,60	8681884,01	751,94	121	406571,80	8413901,38	769,32	188	396557,76	8003699,19	810,97
55	506847,97	8689375,25	738,36	122	446396,77	8403975,48	755,37	189	337347,51	7948633,10	776,56
56	547031,08	8679523,81	765,66	123	478045,58	8411367,89	904,79	190	363182,76	7939620,08	823,06
57	588126,53	8676596,80	451,70	124	515531,30	8406991,61	825,52	191	397957,83	7963512,71	817,47
58	619965,15	8672110,36	463,19	125	551022,12	8398648,30	671,16	192	409095,26	7903441,23	1077,27
59	356812,04	8658601,76	495,60	126	372499,37	8366117,50	654,75	193	425398,89	7977923,38	894,11
60	387779,51	8659775,26	875,34	127	409035,81	8369682,50	632,21	194	438864,29	8085320,79	934,89
61	409530,60	8649095,82	818,96	128	444677,42	8371000,46	799,17	195	346717,57	7924481,32	720,66
62	442741,29	8649594,62	781,56	129	479430,78	8368885,96	901,56	196	404053,94	7931969,54	736,44
63	470047,42	8661104,66	739,01	130	513390,25	8364891,95	829,61	197	333035,13	7981230,19	848,18
64	547282,75	8653256,46	709,86	131	544104,67	8379843,16	676,17	198	515053,23	8083527,45	980,02
65	582339,26	8648741,57	707,69	132	582673,45	8366803,22	689,39	199	333035,13	7981230,19	1008,36
66	612670,47	8648594,16	738,64	133	372357,72	8335829,72	706,42	200	515053,23	8083527,45	557,61
67	638615,90	8651834,39	798,71								

ANEXO IX – RELATÓRIOS DE ESTAÇÃO GEODÉSICA - IBGE

A seguir encontram-se as informações referentes à estação de número 8070009. As demais informações das 2770 estações encontram-se no material digital.



Relatório de Estação Geodésica

Estação :	8070009	Nome da Estação :	8070009	Tipo :	Estação Gravimétrica - EG
Município :	CORAÇÃO DE JESUS			UF :	MG
Última Visita:	5/7/1988	Situação Marco Principal :	Bom		

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	16 ° 41 ' 57 " S	Altitude Ortométrica(m)	768,50	Gravidade(mGal)	978.211,49
Longitude	44 ° 32 ' 32 " W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Sigma Gravidade(mGal)	
Fonte	Carta 1:100000	Sigma Altitude (m)		Precisão	Não Informada
Origem		Datum	Imbituba	Datum	RGFB
S Datum	SAD-69	Data Medição	5/7/1988	Data Medição	5/7/1988
A Data Medição	5/7/1988	Data Cálculo		Data Cálculo	22/11/2011
D Data Cálculo				Correção Topográfica	
6 Sigma Latitude(m)				Anomalia Bouguer	-94,59
9 Sigma Longitude(m)				Anomalia Ar-Livre	-8,59
UTM(N)	8.153.662			Densidade	2,67
UTM(E)	548.805				
MC	-45				
Latitude	16 ° 41 ' 59 " S			Gravidade(mGal)	978.211,49
S Longitude	44 ° 32 ' 34 " W			Sigma Gravidade(mGal)	
I Fonte	Carta 1:100000			Precisão	Não Informada
R Origem	Transformada			Datum	RGFB
G Datum	SIRGAS2000			Data Medição	5/7/1988
A Data Medição	5/7/1988			Data Cálculo	22/11/2011
S Data Cálculo				Correção Topográfica	
2 Sigma Latitude(m)				Anomalia Bouguer	-95,70
0 Sigma Longitude(m)				Anomalia Ar-Livre	-9,68
0 UTM(N)	8.153.607			Densidade	2,67
0 UTM(E)	548.745				
MC	-45				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/06/2011 - Relatório em <ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/REL_sirgas2000.pdf
- Ajustamento Planimétrico Global SAD-69 em 15/09/1996 - Relatório em ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/REL_sad69.pdf
- Dados Planimétricos para Fonte carta nas escalas menores ou igual a 1:250000, valores SIRGAS2000 = SAD-69

Descrição
Marco/chapa padrão IBGE.



CONSÓRCIO



MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE

