

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS E DE VULNERABILIDADE DO SISTEMA AQUÍFERO URUCUIA

PROPOSIÇÃO DE MODELO DE GESTÃO
INTEGRADA E COMPARTILHADA

RELATÓRIO FINAL

VOLUME 1 | DIAGNÓSTICO DO MEIO FÍSICO DA REGIÃO DE
ABRANGÊNCIA DOS SISTEMAS AQUÍFEROS URUCUIA E AREADO

TOMO I | Caracterização do Meio Físico, do Uso e Ocupação da Terra,
Levantamento Hidrogeológico e Investigações Geofísicas

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

Fabrcio Bueno da Fonseca Cardoso

Letícia Lemos de Moraes

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

RELATÓRIO FINAL

***VOLUME 1 - DIAGNÓSTICO DO MEIO FÍSICO DA
REGIÃO DE ABRANGÊNCIA DOS SISTEMAS
AQUÍFEROS URUCUIA E AREADO***

***TOMO I - CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO, DO
USO E OCUPAÇÃO DA TERRA, LEVANTAMENTO
HIDROGEOLÓGICO E INVESTIGAÇÕES GEOFÍSICAS***

© 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 Bernardete 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 Andrezza	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 : volume 1 - diagnóstico do meio físico da região de abrangência dos Sistemas Aquíferos Urucuia e Areado : tomo I – caracterização do meio físico, do uso e ocupação da terra, levantamento hidrogeológico e investigações geofísicas : relatório final / Agência Nacional de Águas ; Elaboração e Execução: Consórcio Engecorps - Walm. -- Brasília : ANA, 2017.

138 p. il.
Vol. 1, Tomo I
3 v.

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

CDU 556.33

APRESENTAÇÃO

O **Relatório Final** dos *Estudos Hidrogeológicos e de Vulnerabilidade do Sistema Aquífero Urucuia e Proposição de Modelo de Gestão Integrada e Compartilhada* apresenta os resultados dos trabalhos desenvolvidos no âmbito do Contrato nº 015/ANA/2011, adjudicado pela Agência Nacional de Águas – ANA – ao Consórcio ENGEORPS♦WALM, em maio de 2011.

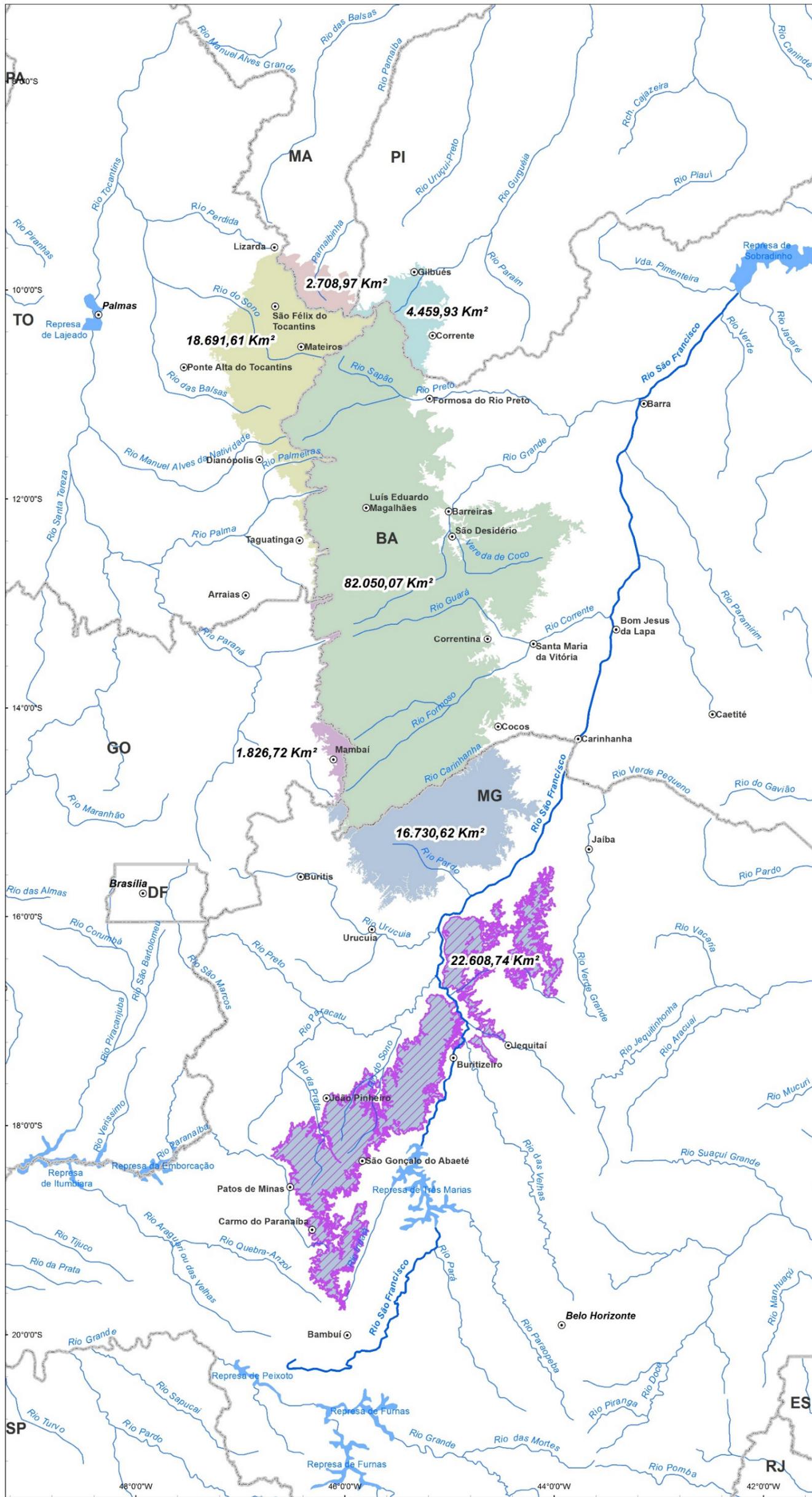
Trata da consolidação dos estudos realizados, apresentados nos nove Relatórios Parciais, além de algumas notas técnicas elaboradas sobre temas específicos, definidos pelos Termos de Referência, este elaborado em conjunto pela Agência Nacional de Águas e os seis estados abrangidos pelo Sistema Aquífero Urucuia (SAU) (**Bahia, Minas Gerais, Goiás, Tocantins, Piauí e Maranhão**), os quais orientaram o desenvolvimento dos trabalhos.

Os estudos realizados contemplaram a execução de cinco grandes etapas metodológicas - com conteúdo descrito resumidamente a seguir - na área de 142.061 Km² apresentada nos termos de referência, considerada naquele documento orientador como o Sistema Aquífero Urucuia-Areado, que abrangia as áreas correspondentes às rochas dos Grupos Urucuia e Areado, incluindo territórios dos estados de Minas Gerais, Bahia, Goiás, Tocantins, Maranhão e Piauí. Com o desenvolvimento dos estudos foram reconsiderados os limites, de tal forma que a área total passou a ter 149.077 Km², e propôs-se dividir as unidades em Sistema Aquífero Urucuia (SAU) e Sistema Aquífero Areado (SAA) com embasamento técnico, onde este último termo será apresentado de forma inédita a partir deste momento (Figura 1).

- ✓ **Etapa I - Mobilização e Consolidação do Plano de Trabalho:** dedicada à realização de atividades necessárias para dar início aos trabalhos e à coleta de dados disponíveis sobre o SAU e o SAA, além de reunião para apresentação da equipe, definição de diretrizes e procedimentos para desenvolvimento dos trabalhos;
- ✓ **Etapa II - Estado da Arte: Hidrogeologia, Geomorfologia, Geologia, Hidrologia, Hidrogeoquímica e Uso e Ocupação do Solo:** realização de um amplo levantamento de dados secundários, visando à obtenção do estado da arte dos aspectos de interesse à caracterização dos aquíferos Urucuia e Areado, a saber: hidrogeologia, geomorfologia, geologia, hidrologia, hidrogeoquímica e uso e ocupação do solo;
- ✓ **Etapa III - Levantamento Geológico, Geomorfológico, de Solo, de Vegetação, Hidrológico, de Uso e Ocupação do Solo, de Ensaio de Infiltração, de Dimensões e Condições de Contorno dos Aquíferos e Levantamento Hidrogeológico:** realização dos levantamentos de campo programados com base nas fases antecedentes (Etapas I e II);
- ✓ **Etapa IV - Avaliação Hidrogeológica e Avaliações de Ocupação e Uso do Solo, Hidrogeoquímica, Vulnerabilidade e Riscos de Contaminação do SAU:** contemplou 12 atividades, com o objetivo de realizar a interpretação dos resultados dos levantamentos de campo obtidos na Etapa III, à luz da bibliografia disponível; e

- ✓ **Etapa V - Estratégias de Manejo Sustentável das Águas Subterrâneas dos Sistemas Aquíferos Urucuia (SAU) e Areado (SAA):** constituiu a consolidação do trabalho, consubstanciada na elaboração de uma base de dados em ambiente SIG para consulta às informações geradas de modo a subsidiar a proposta do plano de gestão integrada e compartilhada dos aquíferos entre os Estados.

Esses estudos foram acompanhados por uma comissão (Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização – CTAF) de técnicos, representantes indicados pelos estados abrangidos pelos Sistemas Aquíferos. A Comissão procedeu o acompanhamento e avaliação de todas as fases dos estudos, juntamente com representantes da Agência Nacional de Águas.



Mapa de localização da área de estudo

Convenções Cartográficas

- ⊙ Sede Municipal
- Hidrografia
- Massas d'água
- Limite Estadual

Legenda

— Rio São Francisco

Divisão por Estado

Sistema Aquífero Uruçua (SAU)

- BA
- GO
- MA
- MG
- PI
- TO

Sistema Aquífero Areado (SAA)

- MG



PROJEÇÃO GEOGRÁFICA

Datum Horizontal: SAD/69
 Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano 45° WGr
 Acrescidas as constantes: 10.000 km e 500 km, respectivamente



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

TÍTULO
 Divisão do Sistema Aquífero Uruçua (SAU) e Sistema Aquífero Areado (SAA) por Estado

ESCALA NUMÉRICA: 1:4.000.000
 NÚMERO FIGURA: 1

ESCALA GRÁFICA: 0 12,5 25 50 75 100 Km

Figura 1 – Divisão do SAU e SAA por Estado.

No presente **Relatório Final** apresenta-se a consolidação dos estudos, estruturado em 13 capítulos, e apresentado em três volumes, sendo o primeiro deles subdividido em dois Tomos. Este produto final inclui ainda o Resumo Executivo, Relatórios Temáticos (Hidrologia, Hidrogeoquímica, Geofísica e Infiltração), e ainda um banco de dados (SIGSAU), o qual consiste no sistema de informações geográficas dos estudos que reúne mapas, relatórios, planilhas e toda a base de dados dos estudos.

O Relatório Final está estruturado conforme descrito a seguir:

VOLUME 1 – DIAGNÓSTICO DO MEIO FÍSICO DA REGIÃO DE ABRANGÊNCIA DOS SISTEMAS AQUÍFEROS URUCUIA E AREADO

Tomo I: CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO, DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA, LEVANTAMENTO HIDROGEOLÓGICO E INVESTIGAÇÕES GEOFÍSICAS

Capítulo 1 - Introdução

Capítulo 2 - Preparação de Bases Cartográficas e Interpretação de Imagens de Satélite

Capítulo 3 - Caracterização Geológica, Geomorfológica, Tectônica, Pedológica e de Usos da Terra e Cobertura Vegetal e Ensaio de Infiltração

Capítulo 4 - Levantamento Hidrogeológico

Capítulo 5 - Investigações Geofísicas

Tomo II: CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA E HIDROLÓGICA DA REGIÃO DE ESTUDO

Capítulo 6 - Estudos Climatológicos e Avaliação Hidrológica

VOLUME 2 – HIDROGEOLOGIA DOS SISTEMAS AQUÍFEROS URUCUIA E AREADO

Capítulo 7 - Avaliação Hidrogeológica dos Sistemas Aquíferos Urucua e Areado

Capítulo 8 - Hidrogeoquímica, Vulnerabilidade e Riscos de Contaminação

VOLUME 3 – ESTRATÉGIAS DE MANEJO SUSTENTÁVEL DOS SISTEMAS AQUÍFEROS URUCUIA E AREADO E CONCLUSÕES

Capítulo 9 - Estratégias de Manejo Sustentável dos Sistemas Aquíferos Urucua e Areado

Capítulo 10 - Proposta de Plano de Gestão Integrada e Compartilhada do Sistema Aquífero Urucua

Capítulo 11 - Proposta de Plano de Gestão Integrada do Sistema Aquífero Areado

Capítulo 12 - Considerações Finais e Recomendações sobre a Gestão de Recursos Hídricos

Capítulo 13 - Resumo e Conclusões Finais

Ao final de cada volume, estão listadas as referências bibliográficas citadas ao longo do texto ou utilizadas para consulta.

O presente caderno constitui o **Tomo I do Volume 1** do Relatório Final que inclui os **capítulos 1 a 5**.

SUMÁRIO DE FIGURAS

VOLUME 1 - TOMO I

	PÁG.
FIGURA 1 – DIVISÃO DO SAU E SAA POR ESTADO.	4
FIGURA 1.1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO SAU E SAA, MODIFICADO DE CPRM (2007).....	14
FIGURA 2.1 - IDENTIFICAÇÃO DA REDE DE CARTAS (1:250.000) UTILIZADA NA ÁREA DOS ESTUDOS (IBGE E DSG, 1970-1980).	16
FIGURA 2.2 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS FONTES UTILIZADAS PARA O TEMA PEDOLOGIA NA ÁREA DE ESTUDO.	17
FIGURA 2.3 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS FONTES UTILIZADAS PARA A GEOMORFOLOGIA NA ÁREA DE ESTUDO.	18
FIGURA 2.4 - MOSAICO DE IMAGENS UTILIZADAS NA REGIÃO DE ESTUDO.....	21
FIGURA 3.1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS SEDIMENTOS CRETÁCEOS DA BACIA SANFRANCISCANA, SECCIONADOS NAS SUB-BACIAS URUCUIA E ABAETÉ PELO ALTO DE PARACATU, E DAS UNIDADES GEOLÓGICAS DO SUBSTRATO PRÉ-CAMBRIANO AFLORANTE (MODIFICADO DE CAMPOS & DARDENNE, 1997A).	24
FIGURA 3.2 - COLUNA ESTRATIGRÁFICA DA BACIA SANFRANCISCANA (MODIFICADO DE CAMPOS & DARDENNE, 1997A).	25
FIGURA 3.3 - GEOLOGIA NAS SUB-BACIAS URUCUIA E ABAETÉ. FONTE: CPRM (2004)	26
FIGURA 3.4 - AFLORAMENTOS VISITADOS E LIMITES NORTE DO SAU SOBRE OS LIMITES GEOLÓGICOS DEFINIDOS SEGUNDO CPRM (2007).	31
FIGURA 3.5 - AFLORAMENTO DE METARGILITOS DO EMBASAMENTO (POSSE, GO).....	32
FIGURA 3.6 - BASE DO GRUPO URUCUIA, FORMAÇÃO POSSE (POSSE, GO).	33
FIGURA 3.7 - FORMAÇÃO POSSE (TAGUATINGA, TO).	34
FIGURA 3.8 - AFLORAMENTO DA FORMAÇÃO POSSE (TAGUATINGA, TO).....	35
FIGURA 3.9 - ARENITOS COM ESTRATIFICAÇÕES CRUZADAS ACANALADAS, BACIA DO PARNAÍBA (GILBUÉS, PI). ...	36
FIGURA 3.10 - CONTATO ENTRE SEDIMENTOS DA BACIA DO PARNAÍBA E O GRUPO URUCUIA (GILBUÉS, PI).	37
FIGURA 3.11 - CONTATO ENTRE O GRUPO URUCUIA E ARGILITOS DA BACIA DO PARNAÍBA (SÃO GONÇALO DA GURGUÉIA, BA).	38
FIGURA 3.12 - METASSILTITOS E METARGILITOS DO GRUPO BAMBUÍ (SÃO DESIDÉRIO, BA).....	39
FIGURA 3.13 - ARENITOS BASAIS DO GRUPO URUCUIA (SÃO DESIDÉRIO, BA).	40
FIGURA 3.14 – JALAPÃO: ARENITOS LAMINADOS (GRUPO URUCUIA?) (PONTE ALTA DO TOCANTINS, TO).	41
FIGURA 3.15 – JALAPÃO: ARENITOS COM ESTRATIFICAÇÃO CRUZADA (GRUPO URUCUIA?) (SÃO FÉLIX DO TOCANTINS, TO).	42
FIGURA 3.16 – JALAPÃO: ARENITOS E ARGILITOS (GRUPO URUCUIA?) (SÃO FÉLIX DO TOCANTINS, TO).	43
FIGURA 3.17 - PERFIL GEOFÍSICO DO POÇO DE PERDIZES, MUNICÍPIO DE SÃO DESIDÉRIO, BA (CPRM & UFBA, 2007).....	45
FIGURA 3.18 - LIMITES DEFINIDOS EM CPRM (2007) E LIMITES OPERACIONAIS CONSIDERADOS PARA O SAU NESTE ESTUDO.	46
FIGURA 3.19 - DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES GEOLÓGICAS DO SISTEMA AQUÍFERO AREADO, NA SUB-BACIA ABAETÉ. FONTE: CPRM (2004).	49
FIGURA 3.20 - AFLORAMENTOS VISITADOS NA REGIÃO DO SISTEMA AQUÍFERO AREADO.....	50

FIGURA 3.21 – FORMAÇÃO ABAETÉ (CARMO DO PARANAÍBA, MG).	51
FIGURA 3.22 – FORMAÇÃO QUIRICÓ (CARMO DO PARANAÍBA, MG).	52
FIGURA 3.23 – FORMAÇÃO TRÊS BARRAS (PATOS DE MINAS, MG).	53
FIGURA 3.24 – FORMAÇÃO PATOS (LAGOA FORMOSA, MG).	54
FIGURA 3.25 – CONGLOMERADOS DA FORMAÇÃO CAPACETE (TIROS, MG).	55
FIGURA 3.26 - GEOMORFOLOGIA NA REGIÃO DOS SISTEMAS AQUÍFEROS URUCUIA E AREADO.	58
FIGURA 3.27 - PRINCIPAIS ELEMENTOS ESTRUTURAIS PRESENTES NO SUBSTRATO DA BACIA SANFRANCISCANA E ADJACÊNCIAS.	64
FIGURA 3.28 - MAPA DE LINEAMENTOS INTERPRETADOS A PARTIR DE IMAGENS SRTM PARA A ÁREA DE ESTUDO.	67
FIGURA 3.29 - MAPA DE LINEAMENTOS INTERPRETADOS A PARTIR DE IMAGENS SRTM PARA SUB-BACIA ABAETÉ.	68
FIGURA 3.30 - MAPA DE LINEAMENTOS INTERPRETADOS A PARTIR DE IMAGENS SRTM PARA SUB-BACIA URUCUIA.	69
FIGURA 3.31 - SEÇÃO ALTIMÉTRICA TRANSVERSAL W-E DA SUB-BACIA URUCUIA.	71
FIGURA 3.32 - SEÇÃO ALTIMÉTRICA LONGITUDINAL SW-NÉ DA SUB-BACIA ABAETÉ.	71
FIGURA 3.33 - SEÇÃO ALTIMÉTRICA LONGITUDINAL NW-SE E NE-SW.	72
FIGURA 3.34 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS SEÇÕES ALTIMÉTRICAS.	73
FIGURA 3.35 - MAPA PEDOLÓGICO DAS SUB-BACIAS URUCUIA E ABAETÉ.	78
FIGURA 3.36 - USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL NAS SUB-BACIAS URUCUIA E ABAETÉ.	80
FIGURA 3.37 - USOS DA TERRA NA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO SAU E SAA.	81
FIGURA 3.38 - SUPERFÍCIE NATURAL VERSUS USO ANTRÓPICO NA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO SAU E SAA.	82
FIGURA 3.39 – DISTRIBUIÇÃO DAS ÁREAS COM VEGETAÇÃO NATURAL QUE COBREM O SAU E SAA POR ESTADO.	84
FIGURA 3.40 – DISTRIBUIÇÃO DAS ÁREAS ANTROPIZADAS DO SAU E DO SAA POR ESTADO.	85
FIGURA 3.41 – ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO EM TERRAS AGRÍCOLAS (A, B) E ZONAS DE CERRADO (C, D) COM EMPREGO DE PERMEÂMETRO GUELPH.	86
FIGURA 3.42 – ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO EM TERRAS AGRÍCOLAS (A, B) E ZONAS DE CERRADO (C, D) COM EMPREGO INFILTRÔMETRO DE ANEL DUPLO.	87
FIGURA 3.43 – ESQUEMA DO PERMEÂMETRO GUELPH.PARA OBTENÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO SATURADO (Kfs) E, ADICIONALMENTE, DOS PARÂMETROS (ϕ_{cm} E α).	88
FIGURA 3.44 – BULBO SATURADO E NÃO-SATURADO AO REDOR DO FURO DE SONDAGEM DURANTE O ENSAIO A CARGA CONSTANTE.	88
FIGURA 3.45 – PARÂMETROS DE MEDIÇÃO PARA DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA EM INFILTRÔMETROS.	90
FIGURA 4.1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS TUBULARES DE CADASTRO DAS FONTES CONSULTADAS APÓS A COMPILAÇÃO, PARA O SAU E SAA.	95
FIGURA 4.2 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS TUBULARES, CACIMBAS E NASCENTES OBTIDOS NO CADASTRO DE CAMPO DO SAU E SAA.	97
FIGURA 4.3 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS TUBULARES DO CADASTRO DAS FONTES CONSULTADAS E DOS PONTOS OBTIDOS NO CADASTRO DE CAMPO DO SAU E SAA.	98
FIGURA 4.4 - HISTOGRAMAS DOS PARÂMETROS PROFUNDIDADE, NÍVEL ESTÁTICO (NE) E VAZÃO (Q).	102
FIGURA 4.5 - USOS DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA ÁREA DE ESTUDO.	103
FIGURA 4.6 - DISTRIBUIÇÃO DOS POSTOS DE ABASTECIMENTO DE COMBUSTÍVEIS NA REGIÃO DO SAU E SAA (FONTE: ANP, OUT/2011).	105

FIGURA 4.7 - DENSIDADE DOS POSTOS DE ABASTECIMENTO DE COMBUSTÍVEIS NA REGIÃO DO SAU E SAA (FONTE: ANP, OUT/2011).....	106
FIGURA 4.8 - DISTRIBUIÇÃO DAS INDÚSTRIAS NA REGIÃO DO SAU E SAA (FONTE: CIEMG, FIEB, ANA, OUT/2011).	108
FIGURA 4.9 - DISTRIBUIÇÃO DE CEMITÉRIOS NA REGIÃO DO SAU E SAA.	110
FIGURA 5.1 – REGISTRO DO LEVANTAMENTO GEOFÍSICO DE SONDAÇÃO ELÉTRICA VERTICAL (SEV).....	114
FIGURA 5.2 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS SEVs EXECUTADAS E MODELADAS NO SAU E SAA.....	116
FIGURA 5.3 - ESPESSURA DO SAU NA SUB-BACIA URUCUIA ESTIMADA COM DADOS DE SEV.....	117
FIGURA 5.4 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS SEÇÕES GEOELÉTRICAS NA SUB-BACIA URUCUIA.....	118
FIGURA 5.5 - SEÇÃO GEOELÉTRICA AB.	119
FIGURA 5.6 - SEÇÃO GEOELÉTRICA CD.	120
FIGURA 5.7 - SEÇÃO GEOELÉTRICA EF.	120
FIGURA 5.8 - SEÇÃO GEOELÉTRICA GH.	120
FIGURA 5.9 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA SEÇÃO GEOELÉTRICA NA SUB-BACIA ABAETÉ.....	121
FIGURA 5.10 - SEÇÃO GEOELÉTRICA IJ.....	122
FIGURA 5.11 - REGISTRO DO LEVANTAMENTO GEOFÍSICO DE SONDAÇÃO ELETROMAGNÉTICA NO DOMÍNIO DO TEMPO (TDEM).	123
FIGURA 5.12 - LOCALIZAÇÃO DAS SONDAÇÕES EXECUTADAS NO SAU E SAA, UTILIZANDO O MÉTODO TDEM.	124
FIGURA 5.13 - ESPESSURA DO SAU NA SUB-BACIA URUCUIA ESTIMADA COM DADOS DE TDEM.....	125
FIGURA 5.14 - ESPESSURA DO SAU NA SUB-BACIA URUCUIA ESTIMADA COM DADOS DE SEV OU TDEM.	129
FIGURA 5.15 – REGISTRO DO LEVANTAMENTO GEOFÍSICO DO MÉTODO GRAVIMÉTRICO.	130
FIGURA 5.16 - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES COM MEDIDAS GRAVIMÉTRICAS NA REGIÃO DO SAU E SAA. ÁREA 23 S NA PROJEÇÃO UTM, DATUM WGS84.	131
FIGURA 5.17 - LOCALIZAÇÃO DAS SEÇÕES GRAVIMÉTRICAS NO SAU E SAA.....	132
FIGURA 5.18 - SEÇÃO S1 MODELADA. A LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES GRAVIMÉTRICAS (41, 40, 31 E 20) UTILIZADAS É INDICADA NO GRÁFICO DE PROFUNDIDADE.	133
FIGURA 5.19 - SEÇÃO S2 MODELADA. A LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES GRAVIMÉTRICAS (87, 88, 89, 90, 99, 100 E 111) UTILIZADAS É INDICADA NO GRÁFICO DE PROFUNDIDADE.	133
FIGURA 5.20 - SEÇÃO S3 MODELADA. A LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES GRAVIMÉTRICAS (133, 134 E 142) UTILIZADAS É INDICADA NO GRÁFICO DE PROFUNDIDADE.	133
FIGURA 5.21 - SEÇÃO S4 MODELADA. A LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES GRAVIMÉTRICAS (169 E 175) UTILIZADA É INDICADA NO GRÁFICO DE PROFUNDIDADE.	134
FIGURA 5.22 - SEÇÃO S6 MODELADA.	134
FIGURA 5.23 - SEÇÃO S5 MODELADA. A LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES GRAVIMÉTRICAS (62, 71, 80, 89, 107, 152 E 180) UTILIZADAS É INDICADA NO GRÁFICO DE PROFUNDIDADE.	135

SUMÁRIO DE QUADROS

VOLUME 1 - TOMO I

	PÁG.
QUADRO 2.1 - IMAGENS DO SATÉLITE LANDSAT UTILIZADAS NO PRESENTE ESTUDO PERÍODO 1	19
QUADRO 2.2 - IMAGENS DO SATÉLITE LANDSAT UTILIZADAS NO PRESENTE ESTUDO PERÍODO 3	19
QUADRO 2.3 - IMAGENS DO SATÉLITE CBERS UTILIZADAS NO PRESENTE ESTUDO PERÍODO 2	20
QUADRO 3.1 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS TOTAL OU PARCIALMENTE INSERIDAS NOS SISTEMAS AQUÍFEROS URUCUIA E AREADO	59
QUADRO 3.2 - TIPOS DE SOLO NA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO SAU E SAA E COBERTURA VEGETAL ASSOCIADA	74
QUADRO 3.3 - DEFINIÇÃO DAS CLASSES DE USO UTILIZADAS NA REGIÃO DE OCORRÊNCIA DOS SISTEMAS AQUÍFEROS URUCUIA E AREADO.	79
QUADRO 3.4 - USOS DA TERRA NA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO SAU E SAA	81
QUADRO 3.5 - USOS DA TERRA NA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO SAU E SAA POR ESTADO	83
QUADRO 3.6 - VALORES A SUGERIDOS POR ELRICK ET AL.. (1989)	89
QUADRO 4.1 - RESUMO DE INFORMAÇÕES DE POÇOS TUBULARES OBTIDOS NAS FONTES CONSULTADAS (DADOS BRUTOS)	93
QUADRO 4.2 - DISTRIBUIÇÃO DOS POÇOS TUBULARES POR ESTADO E MUNICÍPIO	99
QUADRO 4.3 - SERVIÇOS DE COLETA E TRATAMENTO DE ESGOTO EM MUNICÍPIOS COM OCORRÊNCIA DO SAU E DO SAA (FONTE IBGE, 2011)	112
QUADRO 5.1 - POÇOS UTILIZADOS NA MODELAGEM DA ESPESSURA DO SAU	127

SUMÁRIO

VOLUME 1 - TOMO I

	PÁG.
APRESENTAÇÃO.....	2
1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 JUSTIFICATIVAS E OBJETIVOS DOS ESTUDOS	12
2. PREPARAÇÃO DE BASES CARTOGRÁFICAS E INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITE	15
2.1 MÉTODOS APLICADOS.....	15
2.2 GEOLOGIA	17
2.3 PEDOLOGIA.....	17
2.4 GEOMORFOLOGIA	17
2.5 USOS DA TERRA / VEGETAÇÃO	18
3. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA, GEOMORFOLÓGICA, TECTÔNICA, PEDOLÓGICA E DE USOS DA TERRA E COBERTURA VEGETAL E ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO.....	23
3.1 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA	23
3.1.1 <i>Geologia das Sub-Bacias Urucuia e Abaeté</i>	25
3.1.2 <i>Delimitação da Área Operacional do Sistema Aquífero Urucuia na Sub-Bacia Urucuia</i>	28
3.1.3 <i>Delimitação da Área Operacional do Sistema Aquífero Areado na Sub-Bacia Abaeté</i>	47
3.2 CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA	56
3.3 CARACTERIZAÇÃO TECTÔNICA.....	63
3.3.1 <i>Geologia Estrutural Regional</i>	63
3.3.2 <i>Identificação de Lineamentos</i>	65
3.3.3 <i>Evolução Tectônica da Bacia Sanfranciscana</i>	70
3.4 CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA	74
3.5 USOS DA TERRA E COBERTURA VEGETAL	79
3.6 ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO.....	86
3.6.1 <i>Determinação da condutividade hidráulica do solo saturado com o permeâmetro Guelph</i>	87
3.6.2 <i>Determinação da condutividade hidráulica do solo saturado com infiltrômetro de anel duplo</i> .	90
3.6.3 <i>Resultados Obtidos</i>	91
4. LEVANTAMENTO HIDROGEOLÓGICO.....	93
4.1 CADASTRAMENTO DE USUÁRIOS E PONTOS DE ÁGUA E TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS.....	93
4.1.1 <i>Cadastramento de Usuários e Pontos de Água</i>	93
4.1.2 <i>Tratamento Estatístico dos Dados Cadastrais</i>	99
4.2 CADASTRAMENTO DE FONTES POTENCIAIS DE CONTAMINAÇÃO	104
5. INVESTIGAÇÕES GEOFÍSICAS	113
5.1 MÉTODO DA ELETRORRESISTIVIDADE.....	113

5.2	MÉTODO ELETROMAGNÉTICO - TDEM.....	123
5.3	MÉTODO GRAVIMÉTRICO.....	130
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	136

1. INTRODUÇÃO

Este relatório introdutório apresenta as atividades iniciais de levantamento de dados secundários e primários, preparação das bases cartográficas para caracterização do meio físico da área de estudo, como base inicial dos *Estudos Hidrogeológicos e de Vulnerabilidade do Sistema Aquífero Urucuia e Proposição de Modelo de Gestão Integrada e Compartilhada*.

1.1 JUSTIFICATIVAS E OBJETIVOS DOS ESTUDOS

A região dos extensos chapadões situados ao norte de Minas Gerais, oeste da Bahia, leste de Goiás, extremos sul do Piauí e Maranhão e sudeste de Tocantins, configura a área de estudo. A partir do início dos anos 80, grande parte dessa região passou a ser utilizada para a produção de soja, algodão e demais atividades relacionadas com o agronegócio.

A intensa atividade desenvolvida nessa região chamou a atenção aos processos de degradação da qualidade e redução dos volumes das águas dos mananciais, o que resultou na elaboração de vários estudos com foco na ampliação do conhecimento do Aquífero Urucuia, no uso racional das águas e no uso e ocupação da terra.

Juntamente com Minas Gerais, o trecho baiano do rio São Francisco é responsável pela maior parcela de sua vazão, pois nesse Estado estão localizados alguns de seus principais afluentes, nas sub-bacias dos rios Grande, Corrente, Carinhanha, Verde, Jacaré e Paramirim, que contribuem com importante parcela da vazão que chega ao reservatório de Sobradinho nos períodos de estiagens.

A água subterrânea é um componente fundamental do ciclo hidrológico, sendo responsável pela manutenção do fluxo de base dos rios, das nascentes e veredas. Além disso, é um recurso vital para os cidadãos, a economia e o meio ambiente, representando importante recurso para as atividades agropecuárias, uso doméstico e industrial.

Dessa forma, para alcançar o desenvolvimento sustentável e a gestão ambiental integrada da bacia do rio São Francisco, é necessário o conhecimento hidrogeológico adequado e o monitoramento permanente e sistemático de seus mananciais superficiais e subterrâneos, possibilitando gerar informações importantes para o uso adequado das águas, evitando a superexploração dos recursos hídricos, o que resultaria em impactos negativos nas vazões de base dos rios, principalmente nos períodos críticos (vazões mínimas).

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei 9.433/97, coloca entre seus objetivos, fundamentos e diretrizes, a implementação de uma gestão integrada de recursos hídricos, seja entre qualidade e quantidade, como dentre as distintas fases do ciclo hidrológico.

A ANA, enquanto executora nacional da PNRH deve seguir tais preceitos em sua atuação. Nesse sentido, a sua Diretoria Colegiada aprovou em maio de 2007, a sua Agenda de Águas Subterrâneas, que tem, entre outras, a diretriz basilar de dotar os órgãos gestores de recursos hídricos estaduais de conhecimento hidrogeológico, técnico-gerencial, e de capacitação, específica em águas subterrâneas.

Ressalte-se que a gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos e seu gerenciamento racional demanda, entre outros aspectos, o conhecimento da hidrogeologia, do uso e ocupação do solo, da vulnerabilidade natural dos aquíferos e aquisição de parâmetros hidráulicos, com um programa de monitoramento ininterrupto dos componentes do ciclo hidrológico, de forma a possibilitar a obtenção de informações de suporte à sustentabilidade do desenvolvimento regional a médio e longo prazo.

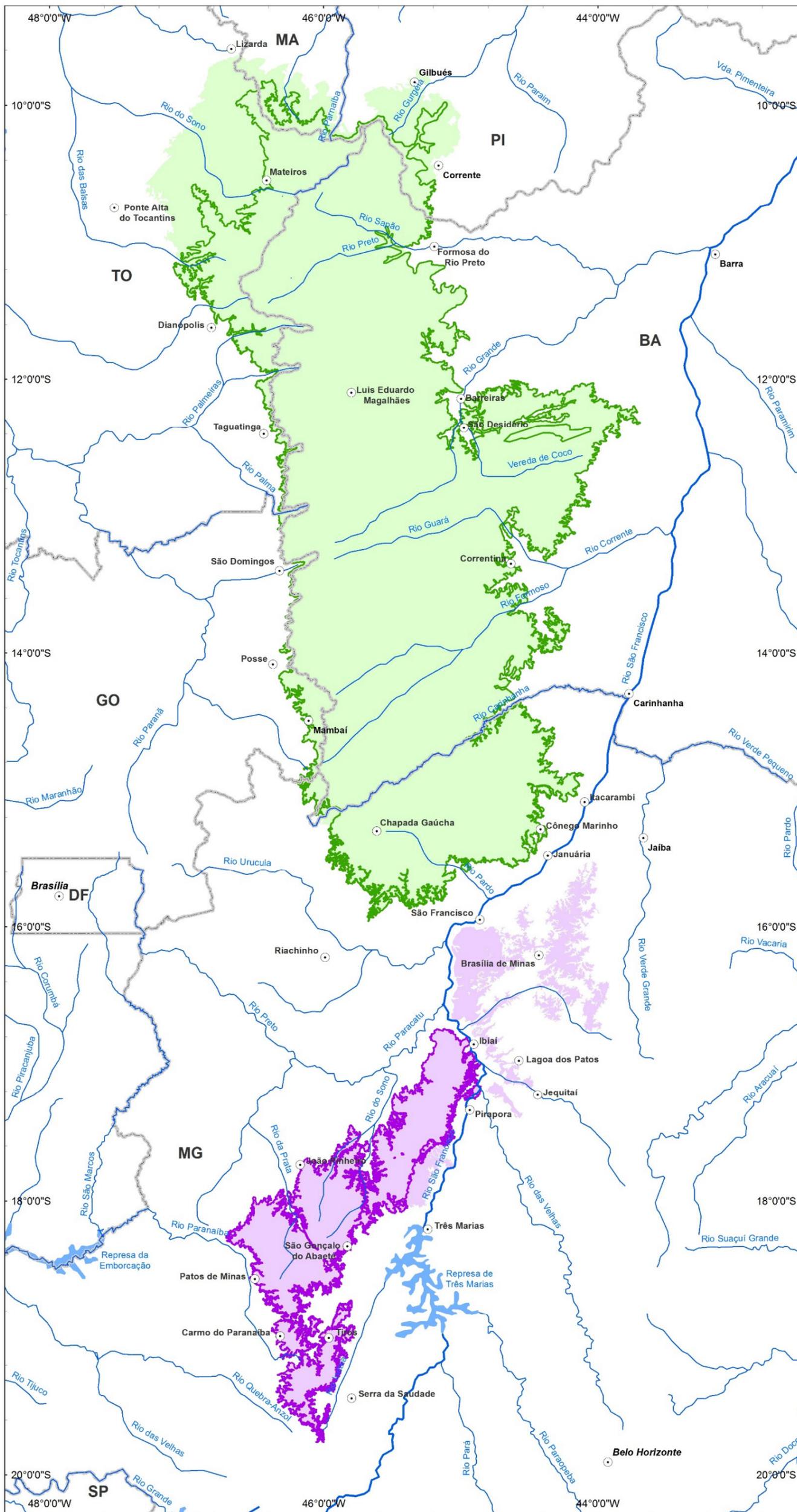
Desta forma, o presente estudo buscou obter informações sobre parte relevante das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do São Francisco, armazenadas nos aquíferos mesozoicos da porção geológica conhecida como Bacia Sanfranciscana (Figura 1.1), valendo-se da ampliação do conhecimento técnico com vistas a subsidiar a gestão de recursos hídricos.

Considerando que esses aquíferos são carentes de dados para subsidiar a elaboração de estudos e indicadores com vistas à exploração do potencial hídrico da região de forma sustentável, os estudos também se mostraram essenciais para municiar os tomadores de decisão com informações para o gerenciamento das águas, por intermédio de uma proposta de Plano de Gestão Compartilhada pelos Estados abrangidos pelo SAU.

O objetivo principal do projeto consistiu na realização de estudos geológicos, geofísicos, hidrogeológicos, de vulnerabilidade e avaliação da qualidade das águas subterrâneas, com vistas à obtenção de informações confiáveis e de qualidade para a gestão integrada dos recursos hídricos das bacias dos rios São Francisco.

Os aquíferos estudados são constituídos pelas rochas mesozoicas da Bacia Sanfranciscana, dos grupos Urucuia e Areado, localizados respectivamente nas porções norte e sul da área de estudo, foram considerados inicialmente como um sistema único, conforme referido nos TdR do projeto como Sistema Aquífero Urucuia ou como seu acrônimo SAU. Durante o desenvolvimento dos estudos, a complexidade litofaciológica e características hidrogeológicas peculiares das rochas constituintes do Grupo Areado, aliadas à ausência de conexão hidráulica entre as sub-bacias Abaeté e Urucuia, mostraram que estes reservatórios subterrâneos deveriam ser tratados como sistemas aquíferos distintos.

Assim, propôs-se a manutenção do nome Sistema Aquífero Urucuia (SAU) somente para as rochas reservatório reunidas no Grupo Urucuia, parte norte da área de estudo, e a designação de Sistema Aquífero Areado (SAA) para as rochas reservatório do Grupo Areado, reunidas na parte sul. Considerando-se a separação entre os sistemas aquíferos, procedeu-se, posteriormente, a delimitação das “áreas operacionais” do SAU e do SAA, consideradas nos cálculos de reservas e geração de mapas temáticos. Ressalta-se, entretanto, que o levantamento de dados desses estudos considerou a área total de afloramento dos grupos de rochas do Urucuia e Areado, conforme estabelecido nos Termos de Referência.



Mapa de localização da área de estudo

Convenções Cartográficas

- Sede Municipal
- ~ Hidrografia
- Massas d'água
- Limite Estadual

Legenda

- ~ Rio São Francisco
- SAU
- SAA
- Limites operacionais do SAU
- Limites operacionais do SAA



PROJEÇÃO GEOGRÁFICA
 Datum Horizontal: SAD/69
 Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano 45° WGr
 Acrescidas as constantes: 10.000 km e 500 km, respectivamente



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

TÍTULO
 Mapa de localização do SAU e SAA, modificado de CPRM (2007)

ESCALA NUMÉRICA 1:3.000.000 NÚMERO FIGURA 1.1

ESCALA GRÁFICA
 0 10 20 40 60 80 Km

Figura 1.1 - Mapa de localização do SAU e SAA, modificado de CPRM (2007).

2. **PREPARAÇÃO DE BASES CARTOGRÁFICAS E INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITE**

Este item aborda a elaboração das bases cartográficas temáticas e dos produtos gerados a partir da interpretação de imagens de satélite, os quais integram o banco de dados espacial (Geodatabase) dos trabalhos de caracterização e mapeamento dos Sistemas Aquíferos Urucuia (SAU) e Areado (SAA).

2.1 **MÉTODOS APLICADOS**

Todo o trabalho foi desenvolvido com a utilização dos *softwares* ArcGis (ESRI) para o trabalho vetorial e ENVI (RSI) para o tratamento de imagens de satélite e interpretação dos usos da terra. Todo o material cartográfico foi reprojetoado, segundo técnicas adequadas, para o Sistema de Coordenadas Geográficas (lat/long), com *datum* SAD 69.

De forma geral, os trabalhos envolveram as seguintes etapas:

- ✓ Rasterização de bases cartográficas impressas;
- ✓ Georreferenciamento;
- ✓ Vetorização;
- ✓ Correções de topologia;
- ✓ Inserção e/ou adequação de atributos; e
- ✓ Edição de simbologia e de *layout* de cartas.

Todo o material foi elaborado em base contínua, sendo que a apresentação seguiu os recortes estabelecidos pelo mapeamento sistemático na escala 1:250.000 (IBGE e DSG, 1970-1980), com utilização das cartas ilustradas na Figura 2.1.

Ao final dos trabalhos, as cartas receberam tratamentos gráficos e uma base sistemática para auxiliar o entendimento do tema e mostrar a localização da área.

Os temas que compõem o Banco de Dados são: Geologia, Geomorfologia, Pedologia e Usos da Terra/Vegetação.

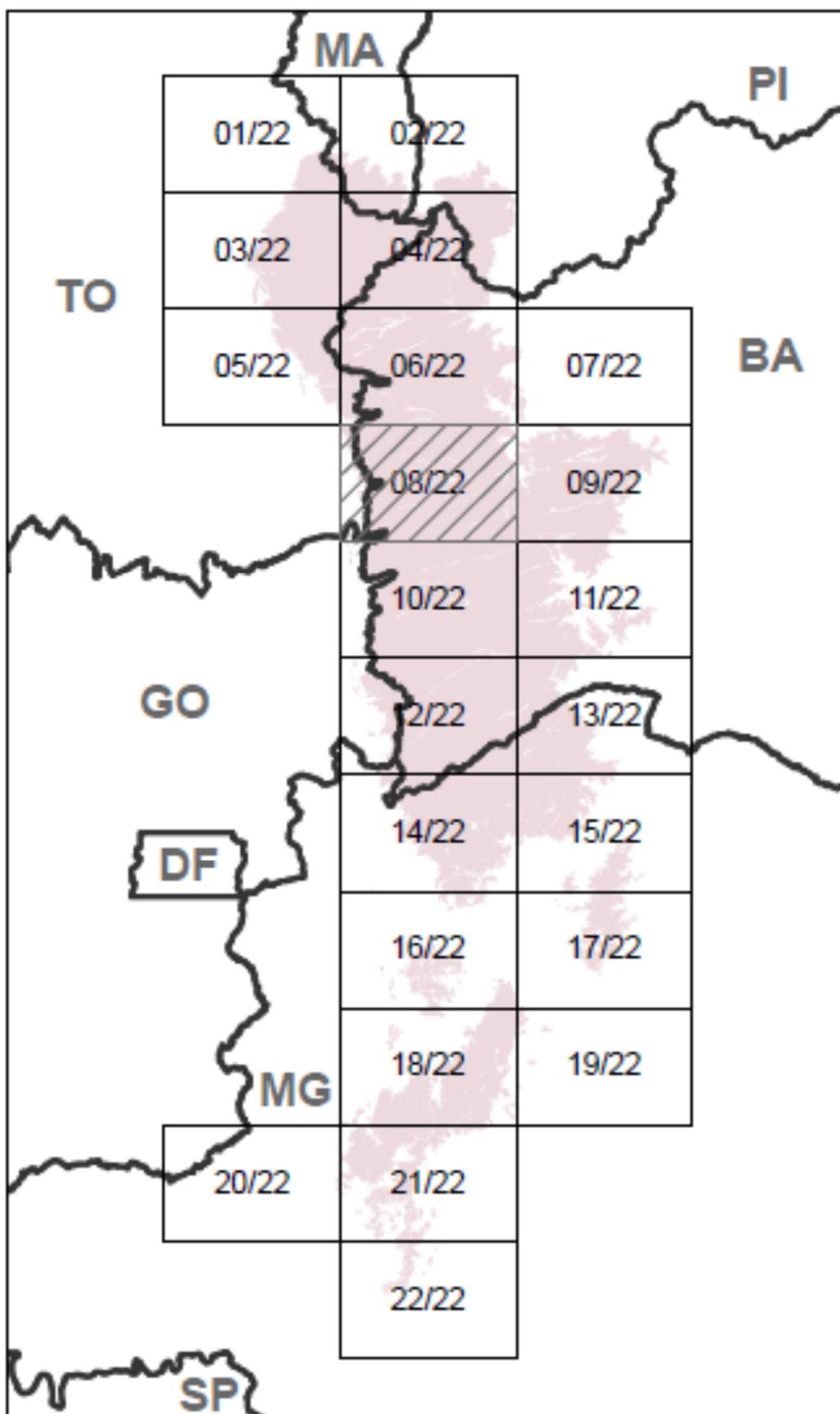


Figura 2.1 - Identificação da rede de cartas (1:250.000) utilizada na área dos estudos (IBGE e DSG, 1970-1980).

2.2 GEOLOGIA

O plano contínuo de informações do tema Geologia foi montado a partir de uma única fonte, a Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, 2004, da CPRM (Serviço Geológico do Brasil), contemplando feições poligonais, lineares e pontuais.

Como os arquivos vetoriais originais são disponibilizados pelo recorte das folhas topográficas ao milionésimo (Cartas SC 23, SD 23 e SE 23), fez-se necessário o trabalho de união das três cartas, com correção de bordas e revisão da topologia das feições.

Durante esses trabalhos, foram efetuadas comparações não sistemáticas com imagens do satélite Landsat e o Modelo Digital de Terreno do projeto SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), da NASA.

2.3 PEDOLOGIA

As bases utilizadas para a montagem da base contínua do tema de Pedologia foram: RADAMBRASIL, Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia (CONDER/BA), Instituto Natureza do Tocantins (NATURATINS/TO) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), conforme ilustrado na Figura 2.2.

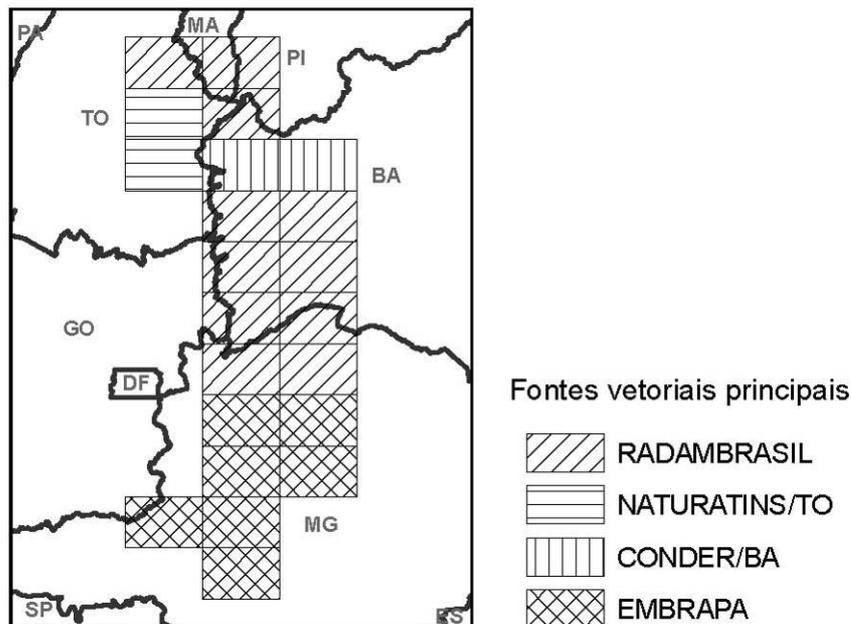


Figura 2.2 - Distribuição espacial das fontes utilizadas para o tema Pedologia na área de estudo.

2.4 GEOMORFOLOGIA

A base contínua do tema de Geomorfologia foi montada com dados compilados a partir de quatro fontes diferentes: RADAMBRASIL, Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia (CONDER/BA), Projeto Sistema de Vigilância da Amazônia (SIVAM/IBGE) e Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC/MG), conforme mostrado na Figura 2.3.

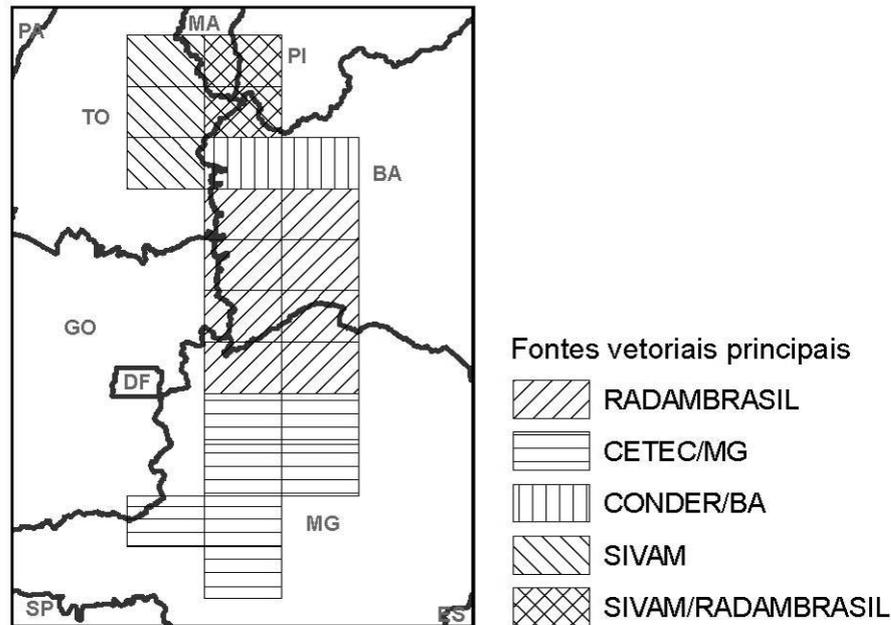


Figura 2.3 - Distribuição espacial das fontes utilizadas para a Geomorfologia na área de estudo.

2.5 USOS DA TERRA / VEGETAÇÃO

Para o estudo do Uso da Terra foram utilizadas imagens de três sensores e de três períodos distintos, assim convençionados: Período 1 (Imagens Landsat 5/7 ortorretificadas, de 2004 a 2007), Período 2 (Imagens CBERS, de 2008 e 2009) e Período 3 (Imagens Landsat 5, de 2011). As imagens também serviram de base para toda a caracterização física da região de estudo como estudo de lineamentos estruturais, geomorfologia, rede de drenagem, entre outros.

O processo de construção do mapeamento de uso da terra e vegetação abrangeu as seguintes etapas: construção da base primária a partir das imagens ortorretificadas do Período 1 (o que representa um ganho em relação a geometria das feições), utilização das imagens CBERS do Período 2 para identificação dos padrões de uso, e finalmente a revisão e atualização manual do uso com a apoio das imagens mais recentes, do Período 3.

No caso dos Períodos 1 e 3, as imagens utilizadas foram obtidas através dos sensores ETM (Satélite Landsat 5) e TM+ (Satélite Landsat 7). A seguir é apresentada a listagem de cenas e datas das imagens Landsat do Período 1 (Quadro 2.1) e do Período 3 (Quadro 2.2).

**QUADRO 2.1 - IMAGENS DO SATÉLITE LANDSAT UTILIZADAS NO PRESENTE ESTUDO
PERÍODO 1**

Satélite	Cena	Data da Passagem	Satélite	Cena	Data da Passagem
L5	218/70	26/4/2004	L5	220/71	17/6/2006
L5	218/71	2/7/2005	L5	220/72	17/6/2006
L5	218/72	26/1/2006	L5	220/73	11/4/2005
L5	219/68	3/12/2006	L5	221/67	8/6/2006
L5	219/69	10/6/2006	L5	221/68	23/5/2006
L5	219/70	1/4/2004	L5	222/67	12/6/2005
L5	219/71	26/4/2007	L5	222/68	12/6/2005
L5	219/72	18/2/2006	L7	218/74	13/5/2007
L5	219/73	1/4/2004	L7	220/66	24/5/2006
L5	219/74	1/4/2004	L7	221/66	29/6/2005
L5	220/67	14/6/2005	L7	221/72	31/5/2006
L5	220/68	14/6/2005	L7	221/73	29/4/2006
L5	220/69	17/6/2006	L7	222/66	4/6/2005
L5	220/70	17/6/2006			

**QUADRO 2.2 - IMAGENS DO SATÉLITE LANDSAT UTILIZADAS NO PRESENTE ESTUDO
PERÍODO 3**

Satélite	Cena	Data da Passagem	Satélite	Cena	Data da Passagem
L5	220/67*	16/9/2010	L5	222/68	17/9/2011
L5	220/67	1/7/2011	L5	220/72	19/9/2011
L5	221/66	9/8/2011	L5	218/70	21/9/2011
L5	220/68	3/9/2011	L5	218/71	21/9/2011
L5	220/69	3/9/2011	L5	218/72	21/9/2011
L5	220/70	3/9/2011	L5	218/74	21/9/2011
L5	220/71	3/9/2011	L5	219/71	28/9/2011
L5	221/68	10/9/2011	L5	219/72	28/9/2011
L5	221/72	10/9/2011	L5	219/73	28/9/2011
L5	219/68	12/9/2011	L5	219/74	28/9/2011
L5	219/69	12/9/2011	L5	220/66	5/10/2011
L5	219/70	12/9/2011	L5	221/67	28/10/2011
L5	222/66	17/9/2011	L5	221/73	28/10/2011
L5	222/67	17/9/2011	L5	220/73	6/11/2011

Obs. * a Imagem 220/67, por apresentar muitas nuvens foi adquirida para 2011 e 2010.

Os *píxels* das imagens Landsat 5/7 (Períodos 1 e 3) apresentam uma resolução espacial de 30 x 30 m, estando na projeção geográfica (lat/long), com *datum* WGS84. Este *datum* foi convertido para SAD69, de forma a se adequar aos demais planos de informação do estudo.

As imagens do Período 2 são oriundas do satélite CBERS, apresentam Pixel com 20 x 20m de resolução espacial e datam dos anos de 2007 a 2009. Originalmente essas imagens foram adquiridas para a construção da totalidade do Uso da Terra do SAU, contudo, com a disponibilização por parte do INPE das imagens Landsat, a metodologia foi revista, com intuito de se construir uma base com melhor qualidade. A seguir são apresentadas as cenas e as datas das imagens (Quadro 2.3).

**QUADRO 2.3 - IMAGENS DO SATÉLITE CBERS UTILIZADAS NO PRESENTE ESTUDO
PERÍODO 2**

<i>Satélite</i>	<i>Cena</i>	<i>Data da Passagem</i>	<i>Satélite</i>	<i>Cena</i>	<i>Data da Passagem</i>
CBERS 2B	153/116	3/10/2009	CBERS 2B	155/117	28/8/2008
CBERS 2B	153/117	3/10/2009	CBERS 2B	155/118	28/8/2008
CBERS 2B	153/118	3/10/2009	CBERS 2B	155/119	28/8/2008
CBERS 2B	154/113	16/8/2009	CBERS 2B	155/120	28/8/2008
CBERS 2B	154/114	16/8/2009	CBERS 2B	155/121	28/8/2008
CBERS 2B	154/115	16/8/2009	CBERS 2B	156/111	30/9/2009
CBERS 2B	154/116	16/8/2009	CBERS 2B	156/112	30/9/2009
CBERS 2B	154/117	1/9/2009	CBERS 2B	156/113	30/9/2009
CBERS 2B	154/118	1/9/2009	CBERS 2B	156/114	30/9/2009
CBERS 2B	154/119	1/9/2009	CBERS 2B	156/115	30/9/2009
CBERS 2B	154/120	1/9/2009	CBERS 2B	156/116	29/6/2009
CBERS 2B	154/121	1/9/2009	CBERS 2B	156/117	29/6/2009
CBERS 2B	154/121	14/6/2008	CBERS 2B	157/111	14/9/2009
CBERS 2B	154/122	16/8/2009	CBERS 2B	157/112	13/10/2008
CBERS 2B	154/122	28/9/2007	CBERS 2B	157/112	14/9/2009
CBERS 2B	155/113	28/8/2008	CBERS 2B	157/113	13/10/2008
CBERS 2B	155/114	28/8/2008	CBERS 2B	157/114	14/9/2009
CBERS 2B	155/115	28/8/2008	CBERS 2B	158/111	13/8/2009
CBERS 2B	155/116	28/8/2008	CBERS 2B	158/112	13/8/2009

De forma a se aperfeiçoar a construção da base de Uso da Terra e evitar problemas entre as bordas das diversas cenas, as imagens Landsat do Período 1 foram mosaicadas numa base contínua (Figura 2.4). Durante esse processo foram aplicadas diversas técnicas de melhoria radiométrica das imagens, no intuito de se evitar mudanças abruptas nas imagens.

Para a construção do mosaico, bem como para a posterior interpretação dos usos da terra, foram definidas as bandas 3, 4, 5 em uma composição colorida (R5, G4, B3 – Vermelho = Banda 5, Verde = Banda 4 e Azul = Banda 3).

As “Áreas-Alvo”, pequenas frações consistentes da imagem de satélite delimitadas pelo operador e onde há a certeza do tipo de ocupação existente, foram definidas com apoio de material cartográfico, pontos conhecidos na área de estudo e também a partir de alguns pontos de fotos existentes no *Google Earth*. Pelo fato desta última fonte de dados eventualmente conter erros, estes foram utilizados com cautela.

Desta forma, buscou-se, dentro dos limites para este tipo de imagem, determinar as classes de usos da terra que poderiam ser isoladas, no intuito de criar um mosaico de classes de uso que compõem a área. Evidentemente que a construção de tais classes passa também pela questão da escala para a qual se destina o mapeamento, no caso 1:250.000. Após a definição das áreas-alvo, foi utilizado o algoritmo de classificação conhecido como “Máxima Verossimilhança” (do inglês: Maximun Linkelihood) e a alguns procedimentos de correção e trabalhos manuais como a “remoção de ruído” na base, sendo neste trabalho utilizado uma área de 156 hectares, conforme recomendação do Manual Técnico do IBGE de 2006.

Por fim, foi elaborada uma checagem sistemática na escala 1:200.000, procurando-se qualquer classe de uso que não estivesse de acordo com a imagem de satélite. Esta checagem foi elaborada com a utilização de imagens Landsat de 2011, atualizando a situação dos usos da terra na região de estudo.

Após o mapeamento dos Usos da terra foi elaborada a planimetria dos padrões identificados, no intuito de se compor um quadro da efetiva ocupação da superfície onde se encontram os aquíferos.

3. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA, GEOMORFOLÓGICA, TECTÔNICA, PEDOLÓGICA E DE USOS DA TERRA E COBERTURA VEGETAL E ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO

3.1 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA

A área de estudo inclui a cobertura sedimentar fanerozoica estabelecida sobre o Cráton do São Francisco, abrigada na unidade geotectônica designada Bacia Sanfranciscana. Essa denominação foi proposta por Sgarbi (1989, *in* Campos & Dardenne, 1997a) e utilizada por diversos autores para distinguir a depressão na qual se acumularam os sedimentos fanerozoicos, da depressão onde se processou a sedimentação proterozoica, esta última representada pelos grupos Canastra e Paranoá (Mesoproterozoico Superior a Neoproterozoico), e Supergrupo São Francisco (Neoproterozoico), encerrados na Bacia Geológica do São Francisco.

Cobrindo área de cerca de 160.000 km², os sedimentos da Bacia Sanfranciscana distribuem-se amplamente pelos Estados da Bahia (53%) e Minas Gerais (29%), e em menores proporções em Tocantins (12%), Piauí (3%), Maranhão (2%) e Goiás (1%). Estes cálculos, realizados no âmbito deste trabalho, consideraram as áreas de afloramento cartografadas no mapa geológico digital de CPRM (2007). A bacia possui formato preservado alongado, com eixo aproximadamente Norte-Sul e comprimento superior a 1.000 km, e largura variável que pode atingir até mais de 250 km. Resquícios dessa sedimentação, representados por morros testemunhos e porções isoladas do corpo principal, testificam sua maior extensão pretérita. Limita-se a sul com a Bacia do Paraná pela Flexura de Goiânia/Soerguimento do Alto Paranaíba, e a norte com a Bacia do Parnaíba através do Arco do São Francisco (Campos & Dardenne, 1997a).

O preenchimento da Bacia Sanfranciscana compreende rochas sedimentares - permocarboníferas do Grupo Santa Fé, rochas eocretácicas do Grupo Areado, rochas vulcânicas neocretácicas do Grupo Mata da Corda e arenitos neocretácicos do Grupo Urucuia (Campos & Dardenne, 1997a). Estes sedimentos estão assentados principalmente sobre rochas do embasamento proterozoico do Supergrupo Espinhaço e dos Grupos Arai, Paranoá, Macaúbas e Bambuí, sobre faixas atribuídas ao embasamento granitognáissico na porção centro-norte da bacia e sobre sedimentos paleozoicos (grupo Balsas e Serra Grande) e mesozoicos (formações Sambaíba e Mosquito) da Bacia do Parnaíba na porção norte. Os sedimentos cenozoicos da bacia são constituídos pelas coberturas arenosas inconsolidadas da Formação Chapadão, composta por material eluvionar, coluvionar e aluvionar (Campos & Dardenne, 1997a).

Na concepção atual, as rochas cretáceas da Bacia Sanfranciscana estão seccionadas nas sub-bacias Abaeté (30.000 km²), ao sul, e Urucuia (130.000 km²), ao centro-norte, pelo Alto Estrutural do Paracatu (Figura 3.1) (Campos & Dardenne, 1997b). Segundo os referidos autores, o desenvolvimento tectônico das duas sub-bacias apresenta diferenças bastante marcantes, tanto na intensidade do campo de *stress* quanto na ausência de um evento pronunciado na Sub-Bacia Urucuia.

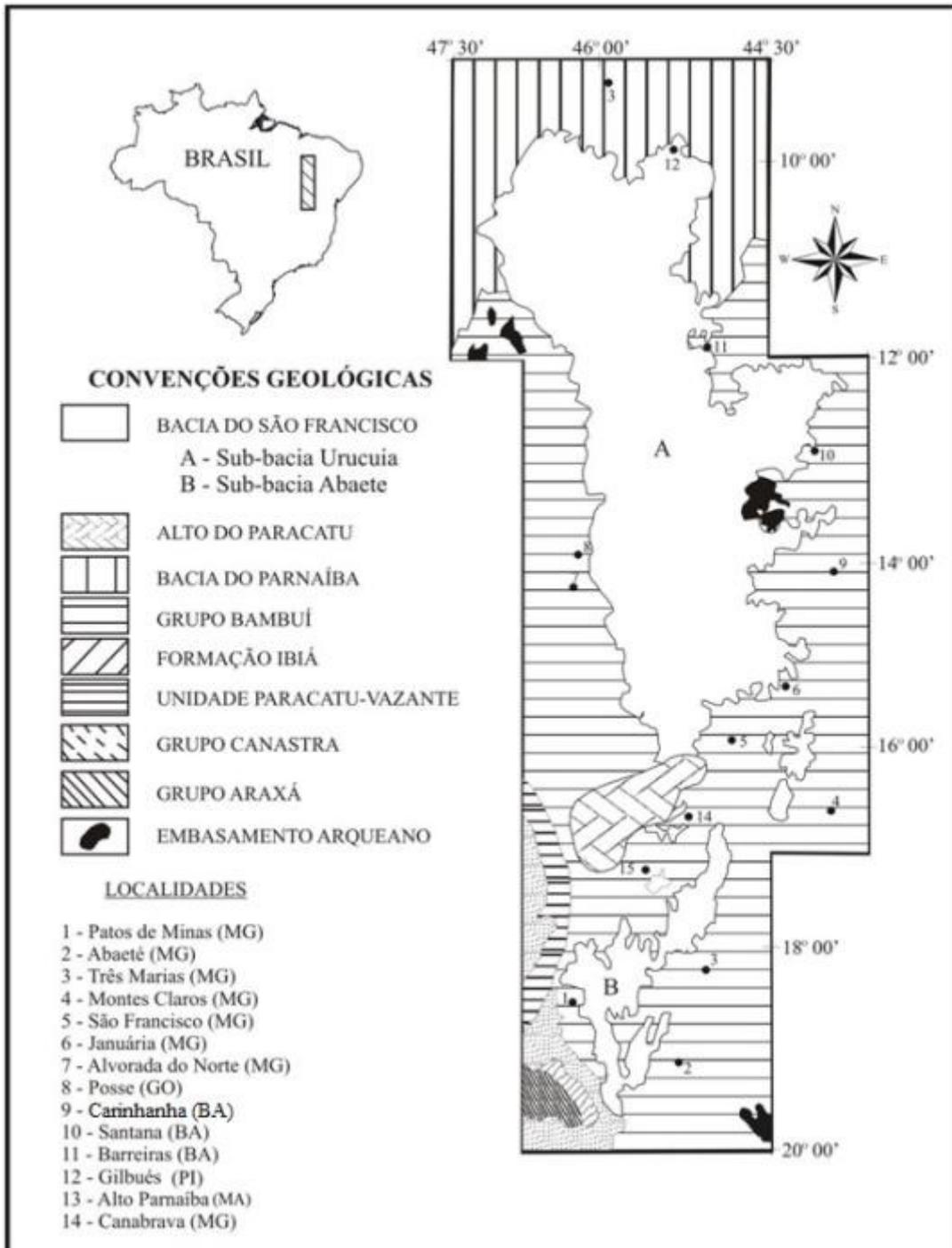
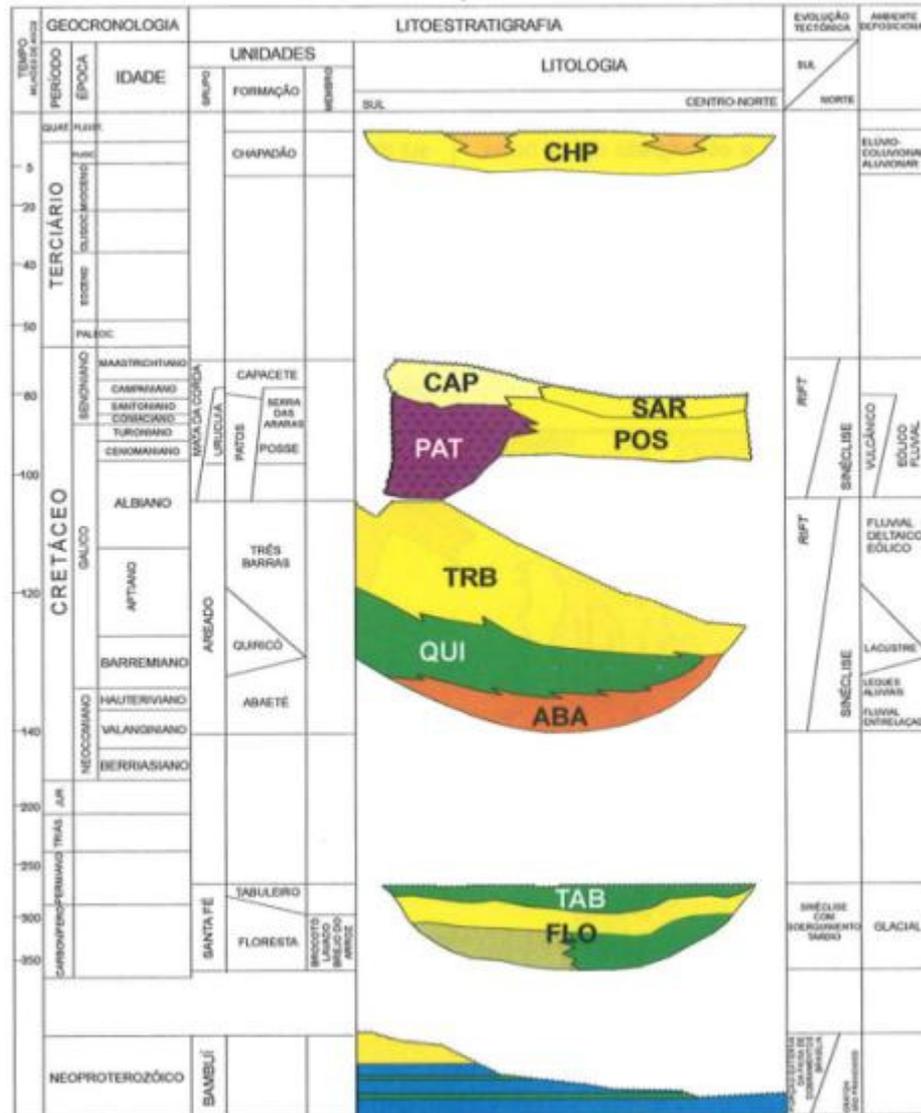


Figura 3.1 - Mapa de localização dos sedimentos cretáceos da Bacia Sanfranciscana, seccionados nas sub-bacias Urucuaia e Abaeté pelo Alto de Paracatu, e das unidades geológicas do substrato pré-cambriano aflorante (modificado de Campos & Dardenne, 1997a).

A coluna litoestratigráfica da sedimentação fanerozoica aceita atualmente pela maioria dos pesquisadores foi proposta por Campos & Dardenne (1997a) (Figura 3.2). Segundo estes autores, o registro sedimentar mesozoico da Sub-Bacia Abaeté compreende, da base para o topo, o Grupo Areado, subdividido nas formações Abaeté, Quiricó e Três Barras, e o Grupo Mata da Corda, subdividido nas formações Patos e Capacete. Na Sub-Bacia Urucuaia, o registro sedimentar mesozoico compreende o Grupo Urucuaia, subdividido nas formações Posse, inferior, e Serra das Araras, superior. Os sedimentos permeáveis dos grupos Areado e Urucuaia

foram integrados no Sistema Aquífero Urucuia, em mapa produzido pela CPRM (2007). Essas foram as unidades hidrogeológicas objeto deste estudo, reunidas como Sistema Aquífero Urucuia-Areado nos termos de referências. Entretanto, ao longo dos estudos os aquíferos foram individualizados em Sistema Aquífero Urucuia (SAU) e Sistema Aquífero Areado (SAA).

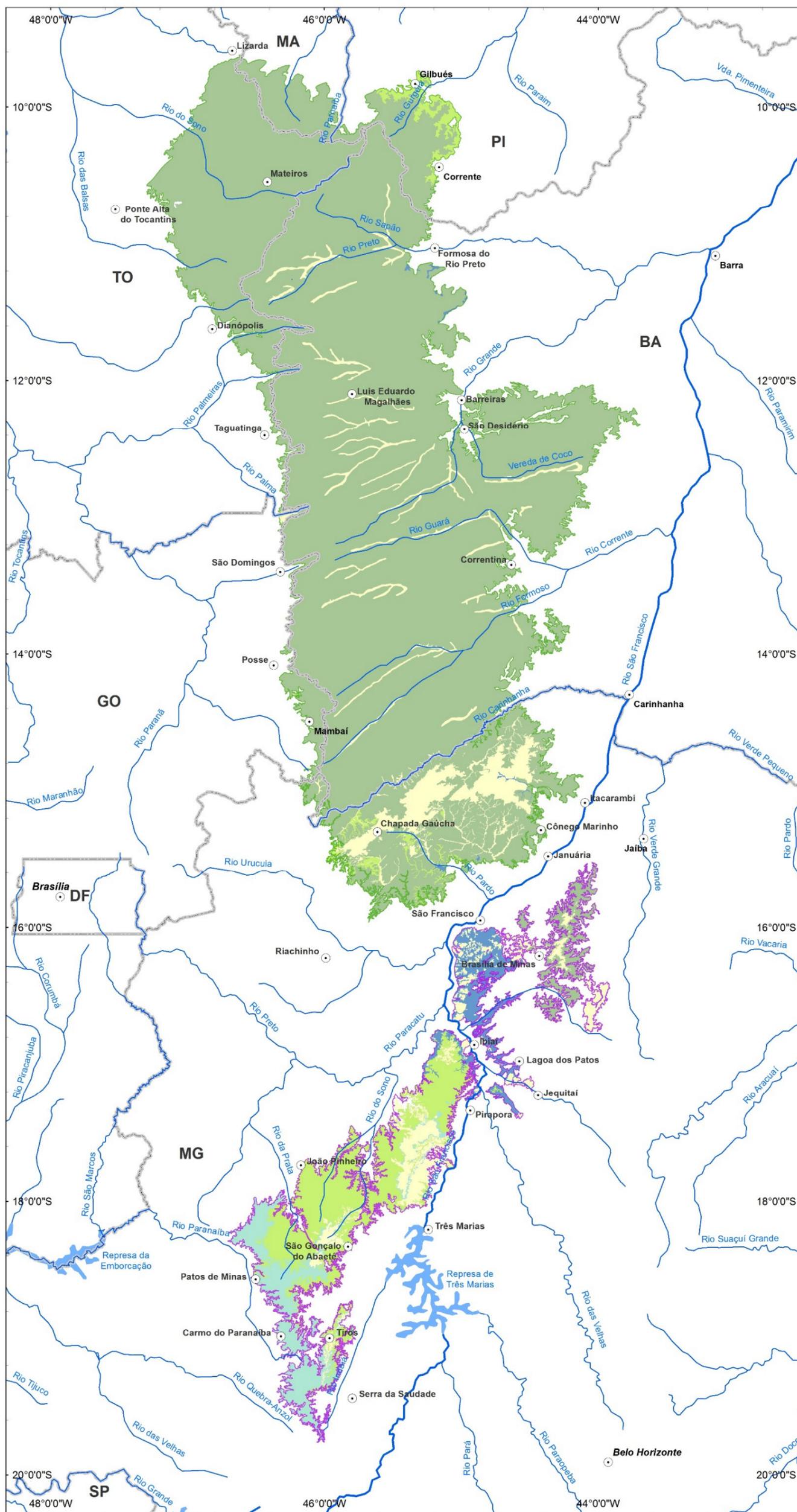


Legenda de sigla das Formações Geológicas: CHP: (Chapadão); CAP (Capacete); PAT (Patos); SAR (Serra das Araras); POS (Posse); TRB (Três Barras); QUI (Quiricó), ABA (Abaeté); TAB (Tabuleiro); e, FLO (Floresta).

Figura 3.2 - Coluna estratigráfica da Bacia Sanfranciscana (modificado de CAMPOS & DARDENNE, 1997a).

3.1.1 Geologia das Sub-Bacias Urucuia e Abaeté

A caracterização geológica das sub-bacias Urucuia e Abaeté é ilustrada no mapa da Figura 3.3, e descrita em continuação.



Mapa de localização da área de estudo

Convenções Cartográficas

- Sede Municipal
- ~ Hidrografia
- Massas d'água
- Limite Estadual

Legenda

- ~ Rio São Francisco
- SAU
- SAA

Unidades Litoestratigráficas

- Coberturas Recentes
- Grupo Areado
- Grupo Bambuí
- Grupo Uruçua
- Grupo Mata da Corda

PROJEÇÃO GEOGRÁFICA

Datum Horizontal: SAD/69
 Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano 45° WGr
 Acrescidas as constantes: 10.000 km e 500 km, respectivamente

ANA
 ENGE CORPS
 WLM

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

TÍTULO

Geologia nas sub-bacias Uruçua e Abaeté

ESCALA NUMÉRICA	NUMERO FIGURA
1:3.000.000	3.3

ESCALA GRÁFICA

0 10 20 40 60 80 Km

Figura 3.3 - Geologia nas sub-bacias Uruçua e Abaeté. Fonte: CPRM (2004)

3.1.1.1 Sub-Bacia Urucuia

As unidades litoestratigráficas da sub-bacia Urucuia estão reunidas no Grupo Urucuia e compreendem as formações Posse, inferior, e Serra das Araras, superior, com distribuição espacial generalizada por toda a área (Campos & Dardenne, 1997a).

Os litotipos atribuídos ao Grupo Urucuia ocorrem a partir do paralelo 17°00' e ocupam amplas regiões da porção norte até o sudeste do Estado do Piauí, onde se sobrepõem aos sedimentos da Bacia do Parnaíba (Campos & Dardenne, 1997a).

A Formação Posse foi associada, em função das litologias, texturas, estruturas sedimentares e arranjo das fácies, a um sistema eólico de campos de dunas que passa em direção ao topo para um sistema fluvial entrelaçado psamítico (Campos & Dardenne, 1997a).

A Formação Serra das Araras é formada por arenitos, argilitos e conglomerados, intercalados em bancos plano-paralelos com espessuras variando de 50 cm a 2 metros. Estratificação plano-paralela é mais comum, mas também são observadas estratificações cruzadas acanaladas de pequeno porte.

Encimando as unidades litoestratigráficas do Grupo Urucuia ocorrem coberturas cenozoicas predominantemente arenosas da bacia Sanfranciscana, reunidas na Formação Chapadão (Campos & Dardenne, 1997a). Estas coberturas aluvionares, coluvionares e eluvionares distribuem-se por toda a extensão da bacia, representadas no mapa como coberturas recentes.

3.1.1.2 Sub-Bacia Abaeté

O registro mesozoico mais complexo da Bacia Sanfranciscana encontra-se na sub-bacia Abaeté e compreende a cobertura sedimentar constituída por rochas depositadas em ambientes continentais e rochas vulcânicas piroclásticas subordinadas. As unidades litoestratigráficas presentes estão reunidas nos grupos Areado (Cretáceo Inferior) e Mata da Corda (Cretáceo Superior), que se assentam em discordância erosiva, contínua e irregular, sobre o Grupo Bambuí (Fragoso *et al.*, 2011).

O Grupo Areado está distribuído de forma contínua por toda a extensão da sub-bacia. No depocentro da Sub-Bacia Abaeté, este grupo apresenta espessuras superiores a 200 metros e rápido adelgaçamento lateral, enquanto que para norte as espessuras desta unidade não ultrapassam algumas dezenas de metros (Campos & Dardenne, 1997a).

A Formação Abaeté foi depositada por leques aluviais na porção sul da sub-bacia e por sistemas fluviais entrelaçados nas demais regiões. Encontra-se preservada somente em paleodepressões do embasamento e é representada por conglomerados polimíticos comumente sustentados por matriz nas porções meridionais da bacia, e por conglomerados sustentados por clastos no restante da área. Pode conter, ainda, espectro diversificado de litofácies que compreende desde conglomerados com ventifactos a arenitos e folhelhos. Sua espessura varia de alguns centímetros até 30 metros (Campos & Dardenne, 1997a).

A Formação Quiricó é composta predominantemente por sedimentos pelíticos, representados por folhelhos e siltitos esverdeados, rosados, ocres, violáceos ou avermelhados, que ocorrem interestratificados entre si, e subordinadamente por intercalações de arenitos finos, médios e grossos, mais frequentes na parte superior da sucessão (Campos & Dardenne, 1997a). As espessuras da Formação Quiricó variam de máximos em torno de 100 metros na região de Abaeté (Seer *et al.* 1989), reduzindo-se rapidamente para poucos metros nas bordas do sistema lacustre. Ao norte, suas ocorrências não ultrapassam algumas dezenas de metros.

A Formação Três Barras é constituída de arenitos médios, vermelhos ou rosados, com frequentes estratificações cruzadas de grande porte e estratificações plano-paralelas. Seu ambiente de deposição é controvertido, sendo que os autores sugerem sistemas variados para as respectivas áreas estudadas: deposição eólica, fluvial com depósitos de canais e de planície de inundação e flúvio-deltaica (Campos & Dardenne, 1994).

O Grupo Mata da Corda é caracterizado pela presença de rochas vulcânicas alcalinas efusivas e piroclásticas, plutônicas alcalinas e sedimentares epiclásticas. Essas rochas vulcânicas depositaram-se sobre os sedimentos cretácicos do Grupo Areado ou diretamente sobre os metassedimentos neoproterozoicos do Grupo Bambuí (Baptista, 2004), ou ainda sobre os arenitos do Grupo Urucuia ao norte da sub-bacia (Campos & Dardenne, 1997a).

A Formação Patos é composta por rochas alcalinas máficas a ultramáficas de natureza efusiva e piroclástica, com amplo predomínio dos tipos piroclásticos (Campos & Dardenne, 1997a). As rochas possuem coloração esverdeada à rósea, estrutura maciça com textura afanítica e presença de vesículas, e ocupam as áreas topográficas mais altas, entre 920 metros e 1000 metros de altitude (Baptista, 2004).

A Formação Capacete é composta por rochas epiclásticas com granulometrias que variam desde argila até seixos e calhaus, representadas por argilitos, arenitos líticos, wackes líticos, ortoconglomerados e paraconglomerados vulcânicos, que correspondem ao produto do retrabalhamento das rochas vulcânicas da Formação Patos (Campos & Dardenne, 1997a).

3.1.2 Delimitação da Área Operacional do Sistema Aquífero Urucuia na Sub-Bacia Urucuia

Durante o desenvolvimento dos estudos, opiniões controversas acerca dos aspectos geométricos do aquífero Urucuia (limites, área e espessura) fomentaram discussões técnicas envolvendo os consultores do consórcio ENGECORPS/WALM e membros da Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização (CTAF). Os técnicos do consórcio defendiam uma teoria geológica diferente daquela até então consolidada na literatura (Lima 2000; Amorim Junior 2003; Amorim Junior & Lima 2003; Tschiedel 2004; Gaspar 2006; CPRM & UFBA 2007; Gaspar *et. al.* 2012).

Duas questões básicas e de suma importância na avaliação da geometria do Aquífero Urucuia emergiram durante levantamentos anteriores de campo e interpretações prévias de dados geológicos e geomorfológicos existentes: o limite norte da área de afloramento do Grupo

Urucuia e as espessuras máximas do aquífero. As discussões sobre as espessuras serão apresentadas no item da geofísica.

Uma vez que a determinação da configuração geométrica do SAU seria imprescindível para a continuidade dos estudos, na elaboração do modelo hidrogeológico conceitual, cálculo de reservas etc., foi realizada uma atividade extra de campo com a participação de técnicos da equipe consultora e membros da CTAF, para tentar um consenso sobre os limites e características do embasamento do Sistema Aquífero Urucuia em discussão. Nessa atividade foram percorridos os principais afloramentos dos bordos leste, oeste e norte da área de estudo.

Com relação à primeira questão, os trabalhos de campo não lograram consenso quanto à continuidade do Grupo Areado na região de Gilbués (PI), nordeste da sub-bacia Urucuia. Além das observações geológicas feitas em campo, o contexto geomorfológico na forma de planalto sobrejacente a substrato mais antigo, com baixa declividade (inferior a 1%) e sem indícios de movimentações tectônicas expressivas afetando o pacote rochoso constituinte do SAU, e o posicionamento geográfico da área efetiva de ocorrência do Grupo Areado, cerca de 700 km ao sul de Gilbués, em clara desconexão com a sub-bacia Urucuia, foram argumentos que do ponto de vista da equipe técnica do consórcio, fortaleceram a tese de que não ocorrem sedimentos do Grupo Areado na região de Gilbués.

Ainda com relação aos limites setentrionais dos aquíferos, autores como Campos & Dardenne (1997a) e CPRM (2007) propuseram, em conhecimento aceito e consolidado no meio científico até o início dos estudos, que as áreas de ocorrência do Grupo Urucuia se estendem a partir do paralelo 17°00' em direção ao norte, até o sudeste do estado do Piauí, sobrepondo-as aos sedimentos da Bacia do Parnaíba. Todavia, os consultores do consórcio discordaram dessa delimitação e uma visita técnica foi feita a diversos afloramentos, especialmente na região do Jalapão, em Tocantins, com vistas a colher informações para embasar a nova proposta da equipe técnica do consórcio. Essa visita técnica foi feita com a presença dos técnicos do consórcio e da ANA, entretanto, também não houve consenso quanto ao questionamento levantado.

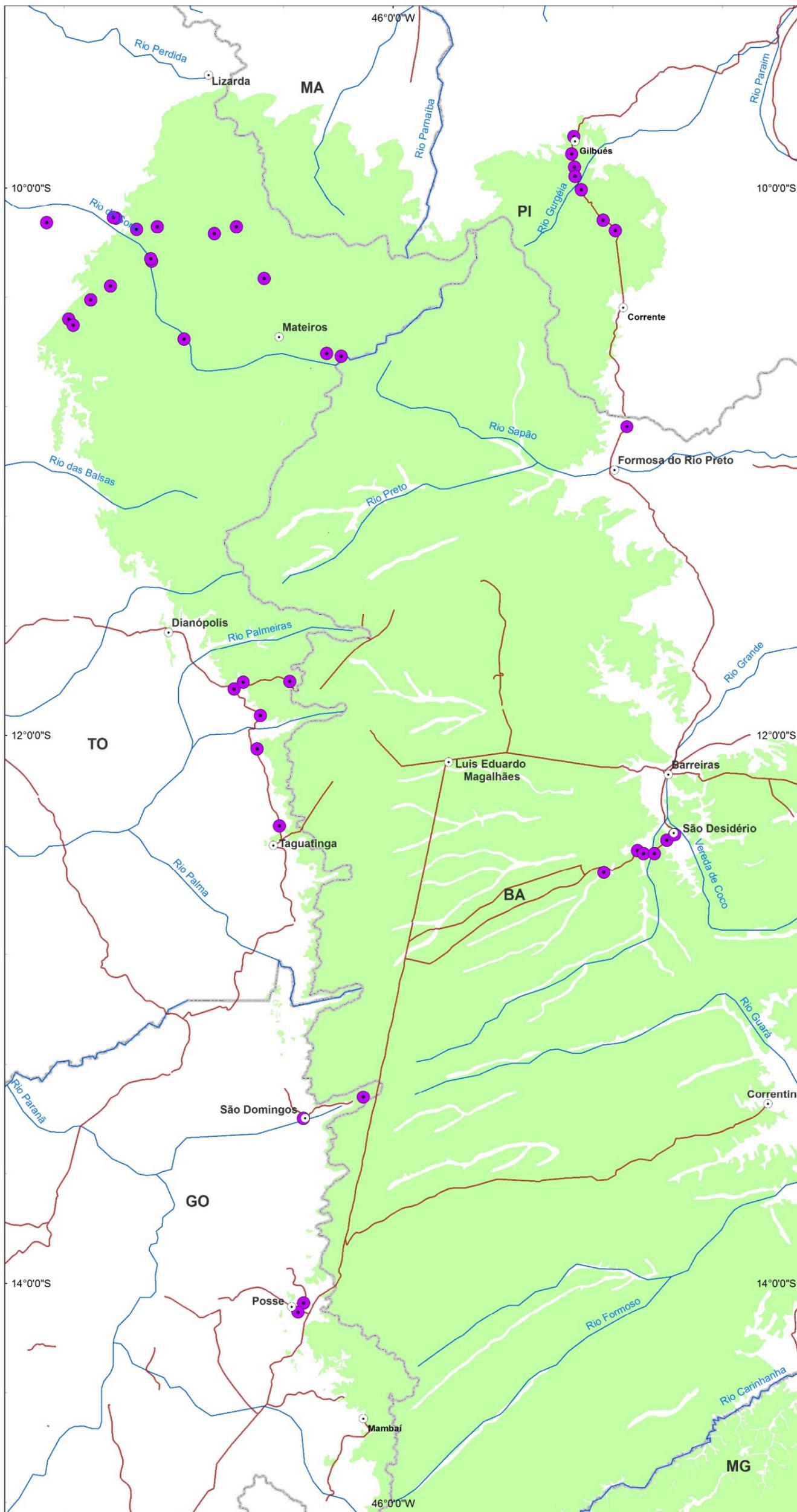
Embora suficientes para a continuidade dos trabalhos, os argumentos não foram resolutivos, haja vista que o consenso técnico não foi alcançado nem com as discussões, tampouco com os trabalhos de campo extras, de modo que somente estudos estratigráficos minuciosos poderão elucidar esta tal questão.

Diante do exposto, do ponto de vista operacional, a consultora considerou que os limites do SAU na região norte da sub-bacia Urucuia são aqueles delineados no mapa da Figura 3.18, estabelecidos com base em critérios geológicos e geomorfológicos, somando uma área de 109.531 km². Vale ressaltar, entretanto, que embora tenha sido definida uma “área operacional” para fins de cálculos de reservas e modelagem do Sistema Aquífero, o levantamento de dados dos estudos abrangeu toda área de afloramento dos grupos Urucuia e Areado, conforme definida nos termos de referência.

Com relação à espessura do SAU na sub-bacia Urucuia as questões serão apresentadas no item 5 (Investigações Geofísicas).

A seguir, são descritos sucintamente alguns afloramentos visitados nas atividades de campo realizadas em julho de 2012 e março de 2013 (Figuras 3.5 a 3.16), localizados sobre base geológica apresentada por CPRM & UFBA (2007) (Figura 3.4). Foram visitados afloramentos de rochas do próprio Grupo Urucuia, como também de rochas mais antigas que constituem o embasamento do SAU.

A campanha de campo consistiu na observação, descrição e algumas medidas estruturais nos afloramentos visitados, utilizando-se de instrumentação moderna e acompanhamento em fotografias aéreas e imagens de satélites. Não incluiu, portanto, nessas atividades mapeamento geológico.



Mapa de localização da área de estudo

Convenções Cartográficas

- Sede Municipal
- Rodovias pavimentadas
- - Rodovias sem pavimentação
- ~ Hidrografia
- Massas d'água
- Limite Estadual

Legenda

- Afloramentos Visitados
- Limite SAU - CPRM (2007)



PROJEÇÃO GEOGRÁFICA

Datum Horizontal: SADI/69
 Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano 45° WGr
 Acrescidas as constantes: 10.000 km e 500 km, respectivamente



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

TÍTULO
 Afloramentos visitados e limites norte do SAU sobre os limites geológicos definidos segundo CPRM (2007)

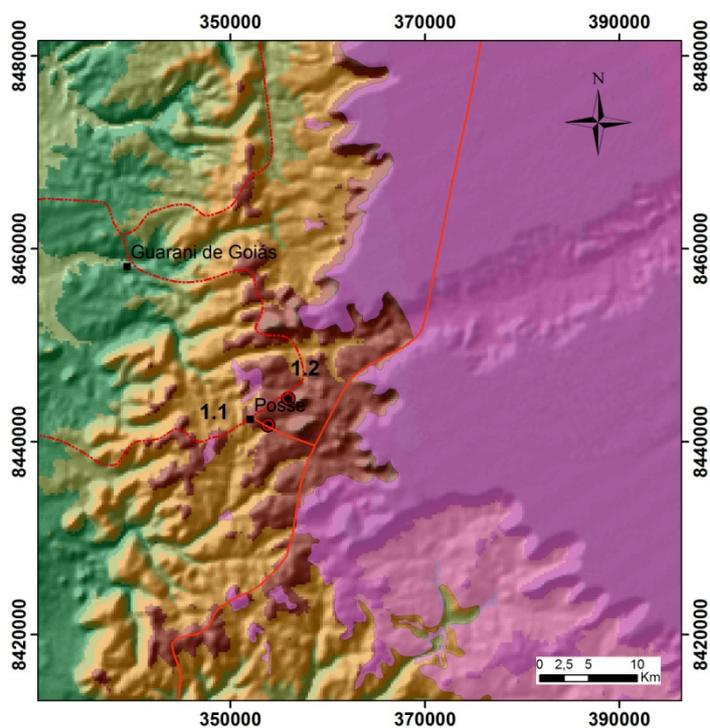
ESCALA NUMÉRICA: 1:1.500.000
 NÚMERO FIGURA: 3.4

ESCALA GRÁFICA: 0 5 10 20 30 40 Km

Figura 3.4 - Afloramentos visitados e limites norte do SAU sobre os limites geológicos definidos segundo CPRM (2007).



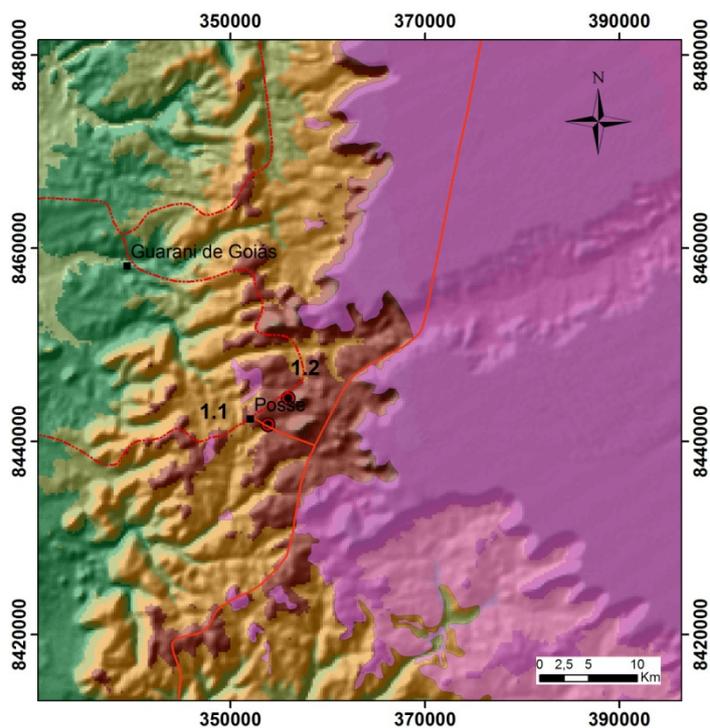
Figura 3.5 - Afloramento de metargilitos do embasamento (Posse, GO).



Afloramento localizado em antiga região de extração de argila para indústria cerâmica. Notar estratos plano-paralelos inclinados de metargilitos do embasamento e cobertura coluvionar recente no topo (contato linha branca). Ponto 1.1 (localização no mapa ao lado).



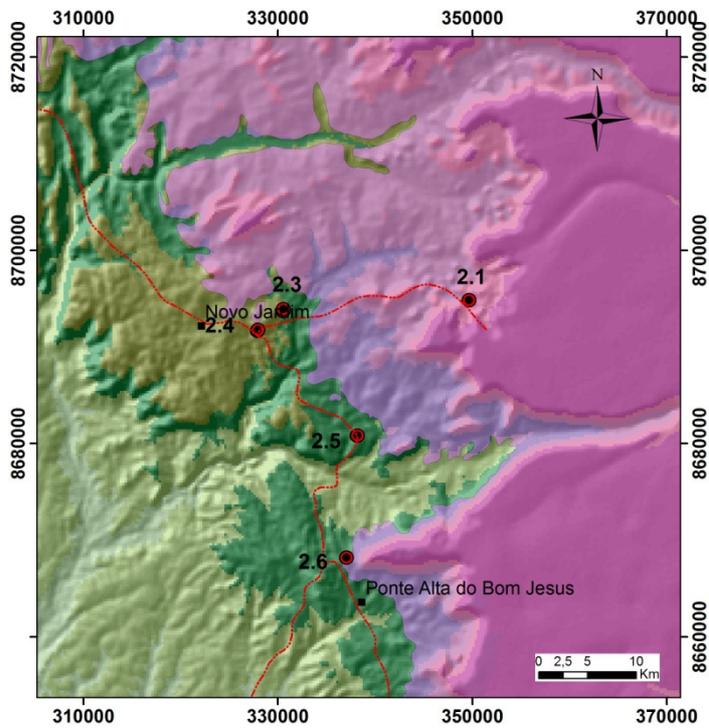
Figura 3.6 - Base do Grupo Urucuiá, Formação Posse (Posse, GO).



Afloramento de arenitos eólicos muito finos, matriz síltica, avermelhados, com estratificações cruzadas tabulares de grande porte da Formação Posse, próximos ao embasamento. Ponto 1.2 (localização no mapa ao lado).



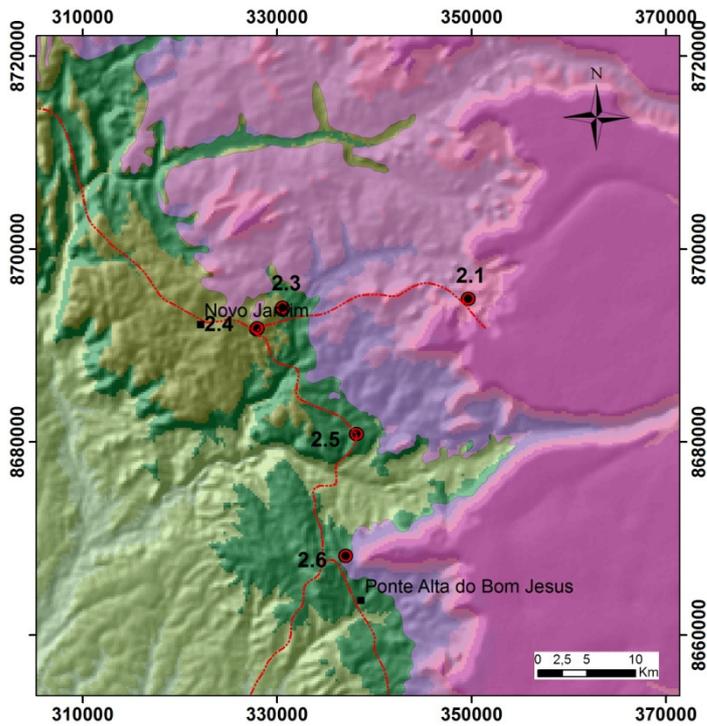
Figura 3.7 - Formação Posse (Taguatinga, TO).



Arenitos finos, branco amarelados, com estratificações plano-paralelas e cruzadas de pequeno porte da Formação Posse, próximos ao contato com o embasamento. Notar semelhança com arenitos da Formação Serra das Araras. Ponto 2.1 (localização no mapa ao lado).



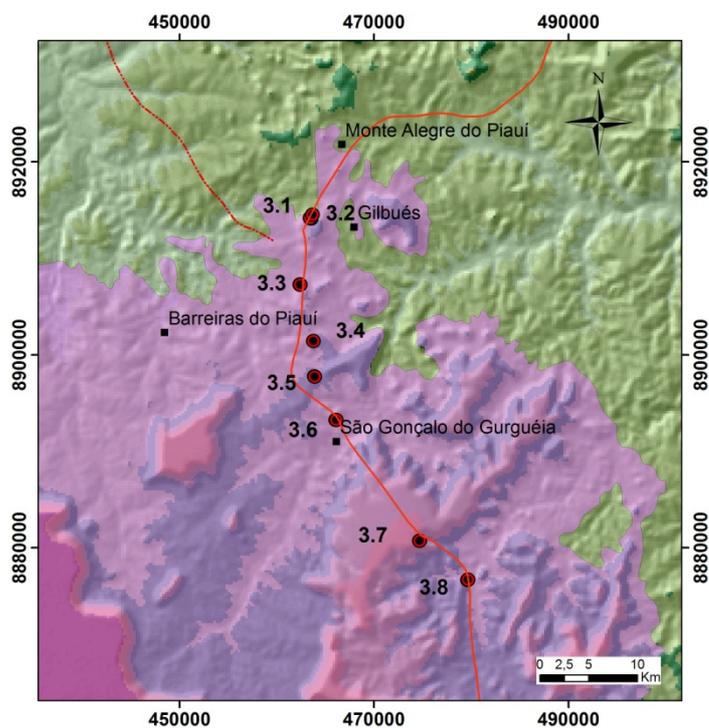
Figura 3.8 - Afloramento da Formação Posse (Taguatinga, TO).



Arenitos cimentados, finos a conglomeráticos, amarelo esbranquiçados, com estratificações cruzadas de pequeno porte, junto ao contato com o embasamento constituído por filitos alterados. Notar seixos e calhaus de calcário dispersos. Próximo ao local, afloramento de calcários. Ponto 2.6 (localização no mapa ao lado).



Figura 3.9 - Arenitos com estratificações cruzadas acanaladas, Bacia do Parnaíba (Gilbués, PI).



Arenito fino, avermelhado, com estratificações cruzadas acanaladas de pequeno porte, pertencente provavelmente à Bacia do Parnaíba. Este pacote arenoso encontra-se enfeixado por sedimentos argilosos. Ponto 3.1 (localização no mapa ao lado).

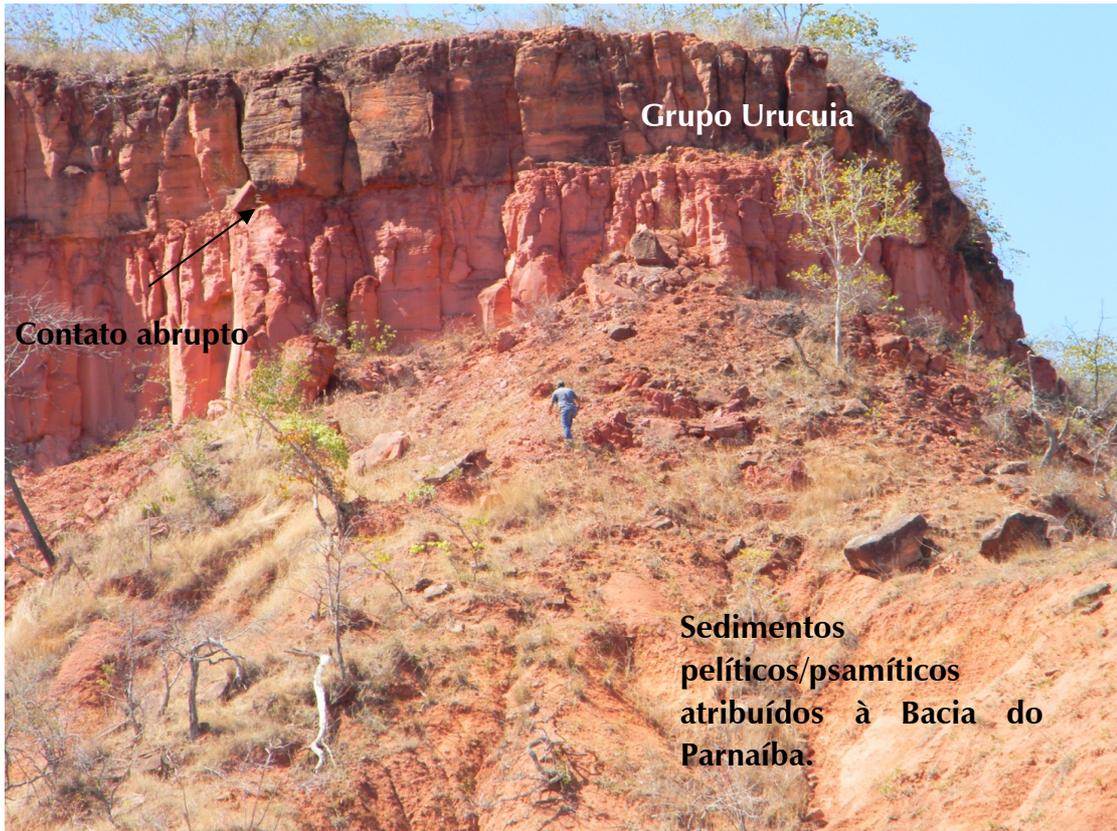
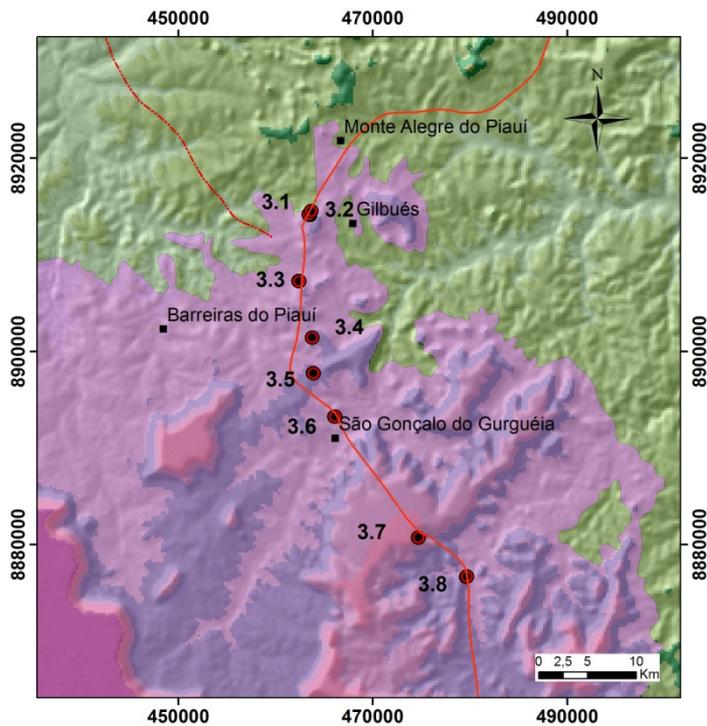


Figura 3.10 - Contato entre sedimentos da Bacia do Parnaíba e o Grupo Urucua (Gilbués, PI).



Contato abrupto entre arenitos eólicos portando estratificações cruzadas tabulares de grande porte do Grupo Urucua e arenitos argilosos sobrejacentes a folhelhos, provavelmente pertencentes à Bacia do Parnaíba. Ponto 3.2 (localização no mapa ao lado).

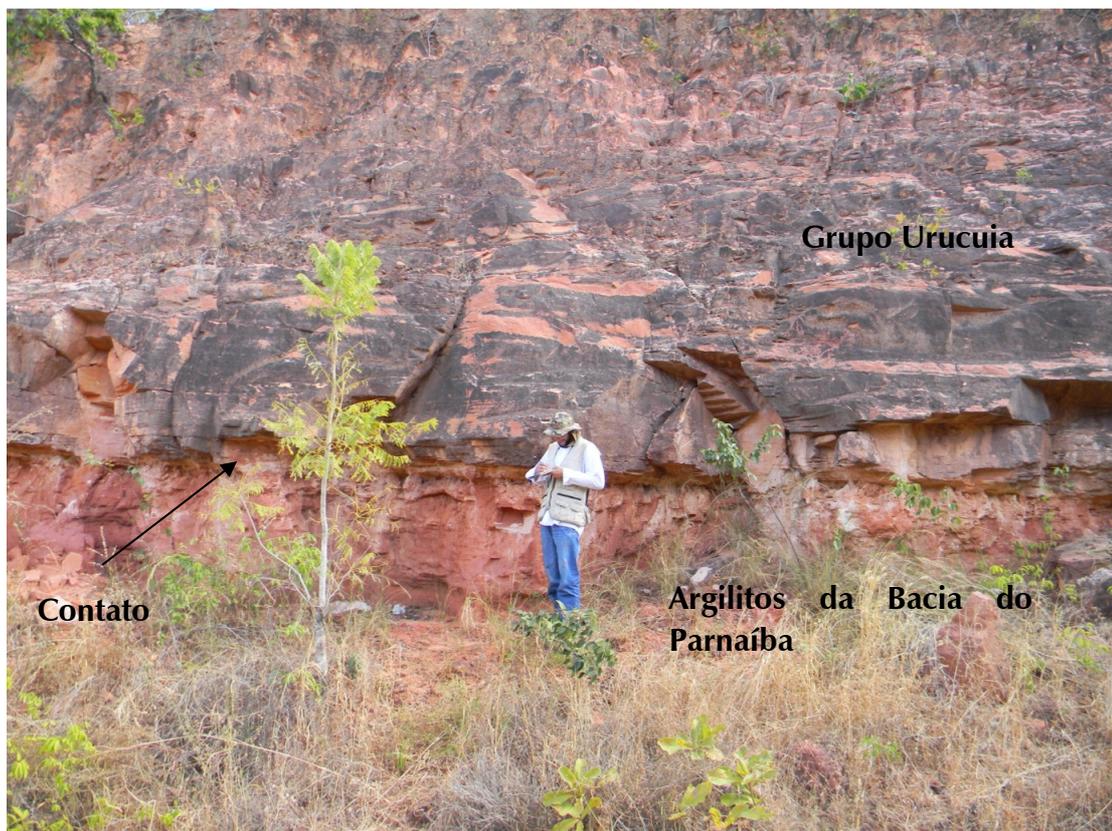
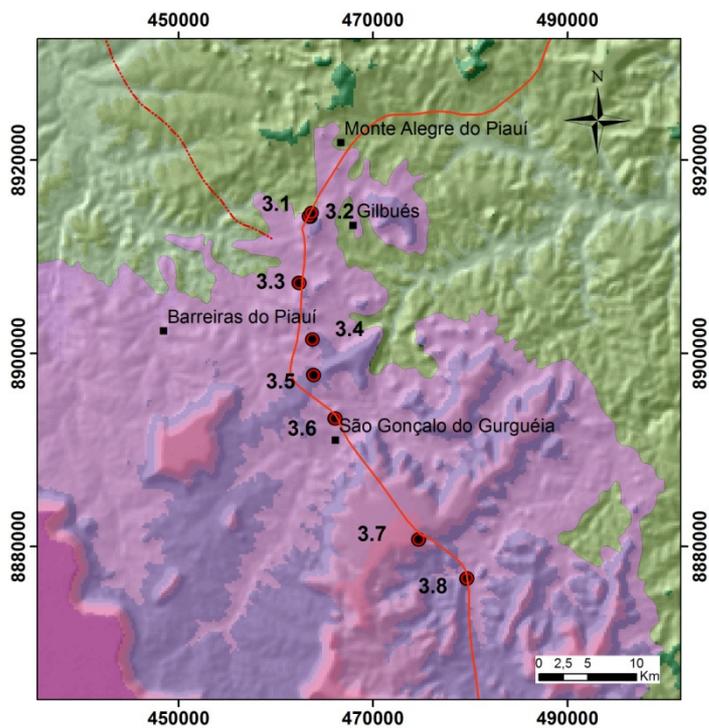


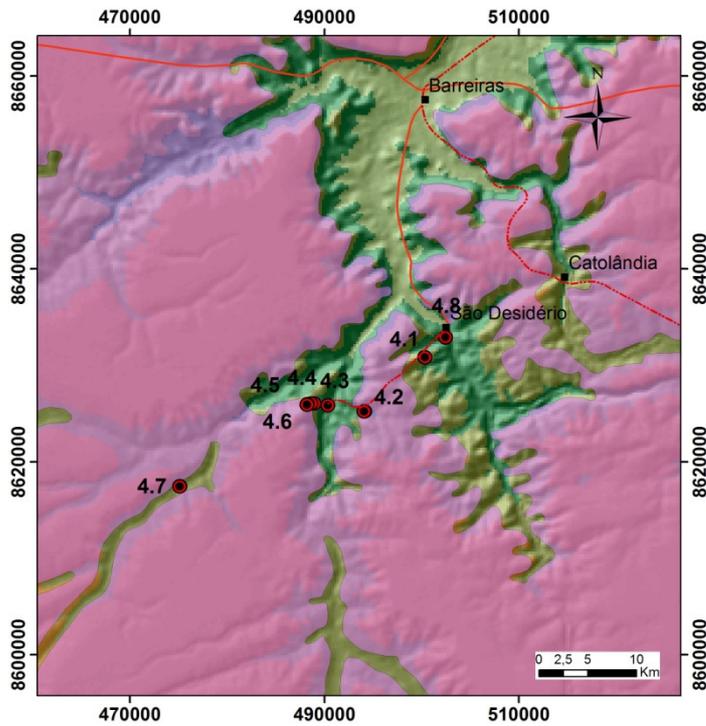
Figura 3.11 - Contato entre o Grupo Urucua e argilitos da Bacia do Parnaíba (São Gonçalo da Gurguéia, BA).



Contato abrupto entre arenitos avermelhados, com estratificações cruzadas acanaladas de grande porte do Grupo Urucua e argilitos provavelmente pertencentes à Bacia do Parnaíba. Ponto 3.7 (localização no mapa ao lado).



Figura 3.12 - Metassiltitos e metargilitos do Grupo Bambuí (São Desidério, BA).



Metargilitos e metassiltitos deformados do Grupo Bambuí na região de São Desidério, BA, próximos ao contato com o Grupo Urucuaia. Pontos 4.3 e 4.4 (localização no mapa ao lado).

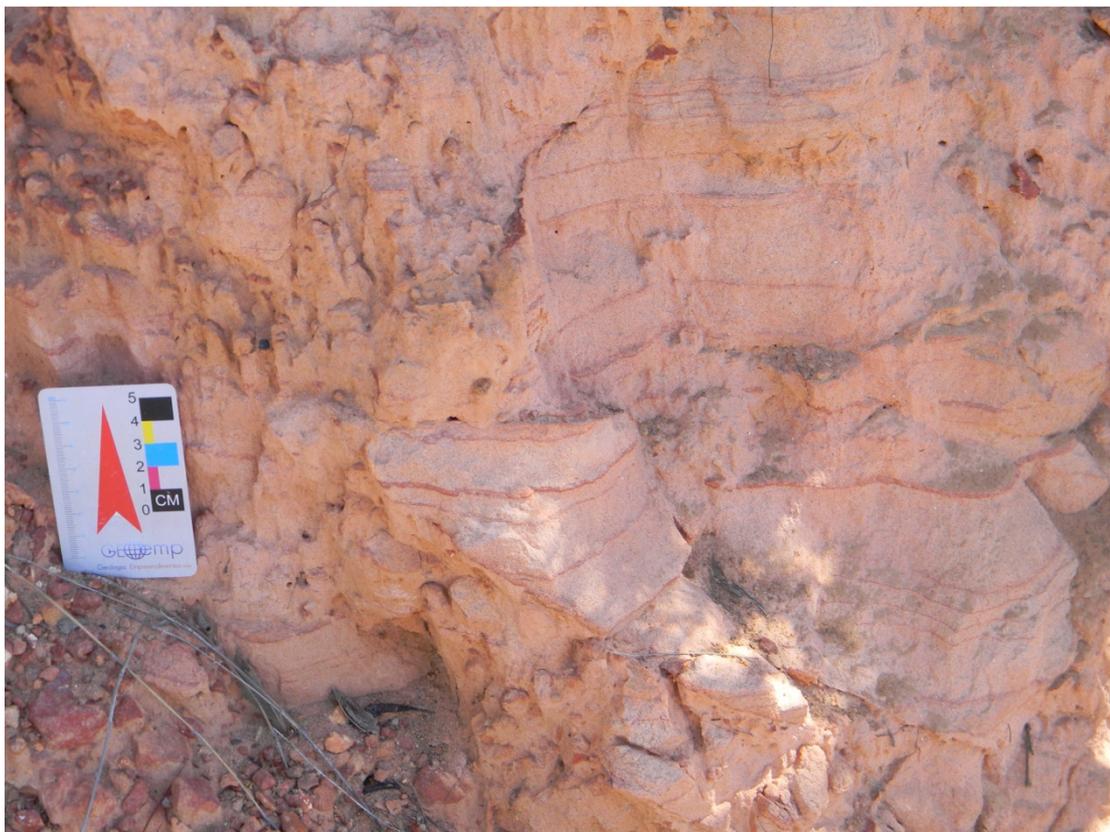
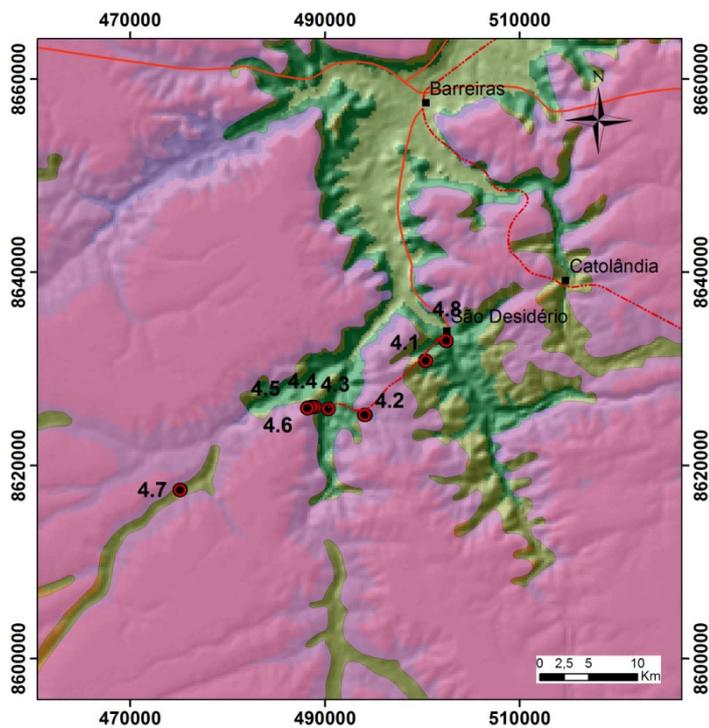


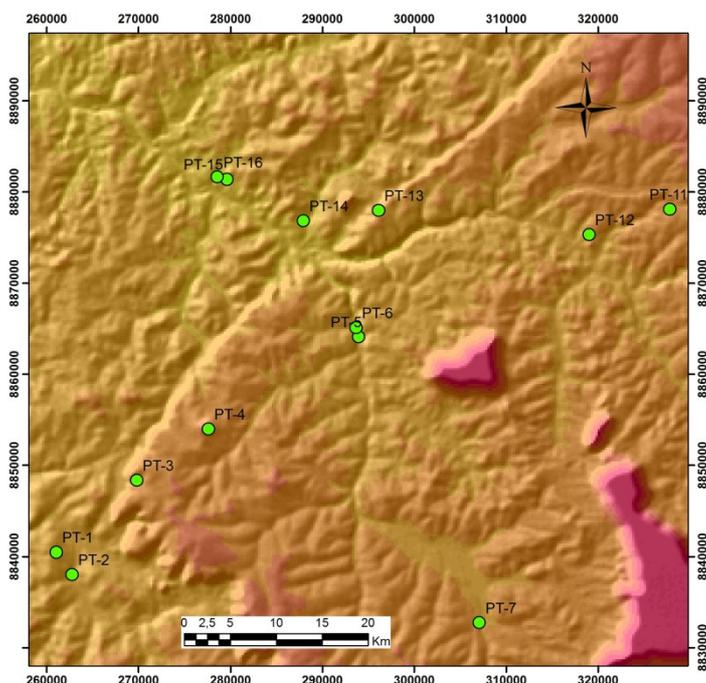
Figura 3.13 - Arenitos basais do Grupo Urucuia (São Desidério, BA).



Arenitos finos, argilosos, com estratificação plano-paralela e intercalações de lâminas delgadas de argilito vermelho, do Grupo Urucuia, logo acima do contato com metassiltitos e metargilitos do embasamento (Figura 3.13). Ponto 4.5 (localização no mapa ao lado).



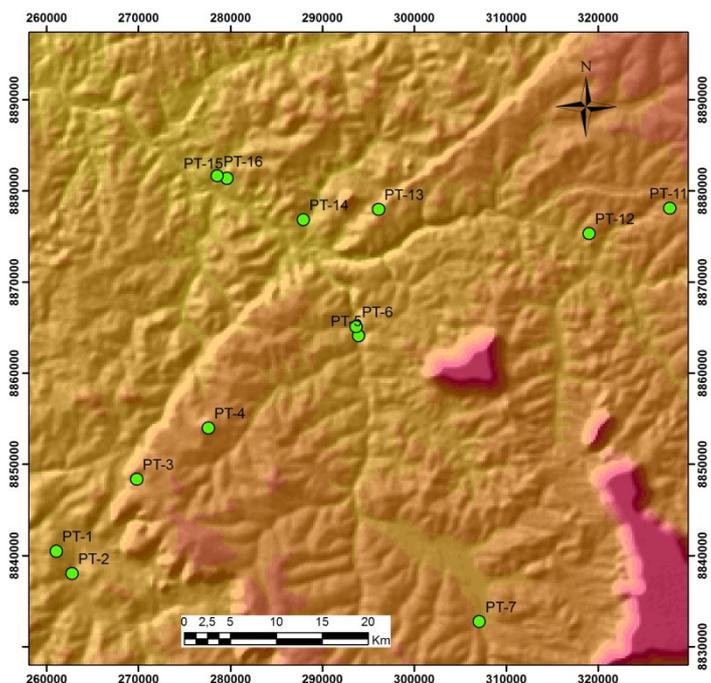
Figura 3.14 – Jalapão: Arenitos laminados (Grupo Uruçuia?) (Ponte Alta do Tocantins, TO).



Arenito fino a médio, friável, avermelhado, com grãos finos a médios, bem arredondados e esféricos, bem selecionados e polidos. A composição predominante é de quartzo, com raros feldspatos. A rocha exibe localmente estratificações, com as lâminas internas realçadas por diferentes graus de cimentação por óxido de ferro. Clastos angulosos de quartzo leitoso ocorrem de forma esparsa (Figura 3.14). Ponto 2 (localização no mapa ao lado).



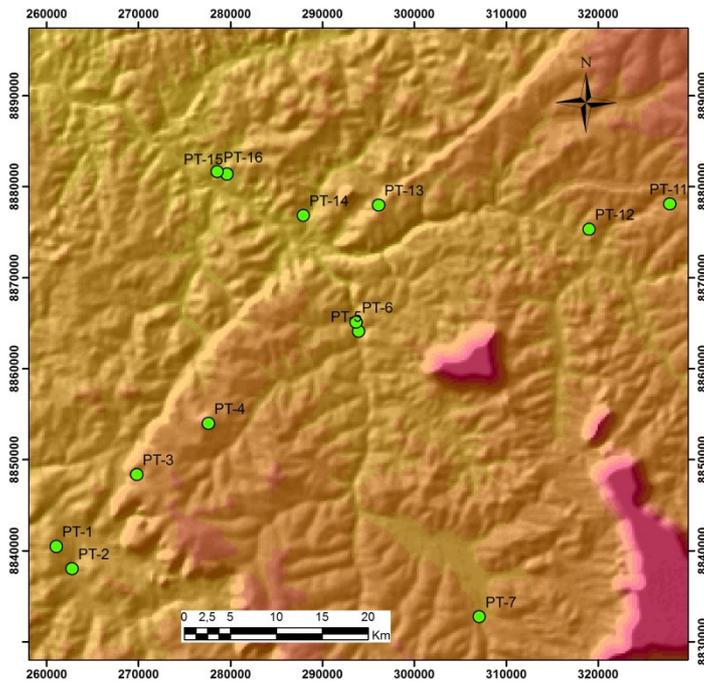
Figura 3.15 – Jalapão: Arenitos com estratificação cruzada (Grupo Urucua?) (São Félix do Tocantins, TO).



Arenito fino, arredondado, bem selecionado, predominantemente quartzoso, com estratificação cruzada de médio porte, aspecto coeso apesar de ser facilmente desagregado com a pressão dos dedos. O empacotamento é mais apertado que os arenitos típicos do Grupo Urucua (Figura 3.15). Ponto 13 (localização no mapa ao lado).



Figura 3.16 – Jalapão: Arenitos e argilitos (Grupo Urucuia?) (São Félix do Tocantins, TO).



Argilito vermelho na base, pastilhado, com cerca de 740 cm de espessura, e arenito fino argiloso, predominantemente avermelhado. Localmente apresenta cores cinza esbranquiçadas dispostas vertical ou horizontalmente na parede (Figura 3.16). Ponto 12 (localização no mapa ao lado).

Os levantamentos de campo permitiram as seguintes conclusões por parte dos consultores do consórcio:

- ✓ A região do limite norte do SAU, como apresentados no mapa da CPRM (2007), estão estendidos para além de sua área de ocorrência efetiva, como observado em Gilbués (PI), de acordo com concepção da consultora. Nesta região, resquícios isolados de sedimentos do SAU posicionam-se em altitudes da ordem de 500 metros sobre sedimentos da Bacia do Parnaíba. Para fins geológicos há afloramentos e ocorrência dos arenitos do Grupo Urucuia, mas em espessuras reduzidas, e não há armazenamento de água subterrânea, pois o SAU nesta região faz o papel da zona vadosa dos aquíferos de rochas mais antigas, da Bacia geológica do Parnaíba. Conforme se confirmou nas análises químicas dos poços dessa área.
- ✓ O embasamento do SAU é uma superfície irregular e provavelmente, erosiva, manifestada pelas variações de altitude desse contato, conforme observado nos bordos leste e oeste do aquífero;
- ✓ A similaridade litológica entre rochas dos grupos Urucuia e das formações Sambaíba e Piauí, da Bacia sedimentar do Parnaíba, bem como sua gênese similar associada a depósitos eólicos e fluviais, é um fator primordial a ser considerado para efeito de delimitação das faixas aflorantes das bacias Sanfranciscana e do Parnaíba. Nessa região (Jalapão) considerou-se o aspecto geomorfológico como um indicador relevante na distinção entre as rochas das duas bacias sedimentares;
- ✓ Na região de São Desidério (BA) foram observados metargilitos e metassiltitos com níveis mais arenosos, deformados, pertencentes ao Grupo Bambuí. Esses metassedimentos foram descritos em amostras de calha e no perfil geofísico do poço do Distrito de Perdizes (Figura 3.17, porção inferior). Foram descritos como sedimentos correlatos à Formação Geribá, base do Grupo Urucuia, segundo (CPRM & UFBA 2007).

Com base nas considerações apresentadas, foi definido um limite operacional para a área de ocorrência dos sedimentos do SAU na porção norte da bacia, conforme mostrado na Figura 3.18. Os limites, a princípio, foram aproximadamente delineados com auxílio de aplicativo do ArcGis, por meio do qual foram identificadas e descartadas porções da parte norte da bacia com altitudes inferiores a 500 metros, tendo como referência o modelo digital de elevação do SAU. Em seguida, estes limites foram ajustados manualmente, de maneira a coincidir com as quebras de relevo e assumir nova configuração, baseados no entendimento dos consultores após trabalhos de campo. Como salientado anteriormente, embora suficientes para esta conclusão, os argumentos apresentados não são resolutivos.

Tendo em conta a complexidade e relevância da questão levantada e sua transcendência em relação aos termos de referência encerrados no âmbito do projeto, aliadas à impossibilidade de solução do conflito em curto prazo e à necessidade de concluir o presente estudo, os limites operacionais da porção norte do SAU adotados pela consultora para efetivação de cálculos e modelagem foram aqueles definidos na Figura 3.18. 109.531 km². A área operacional foi calculada em 109.531 km².

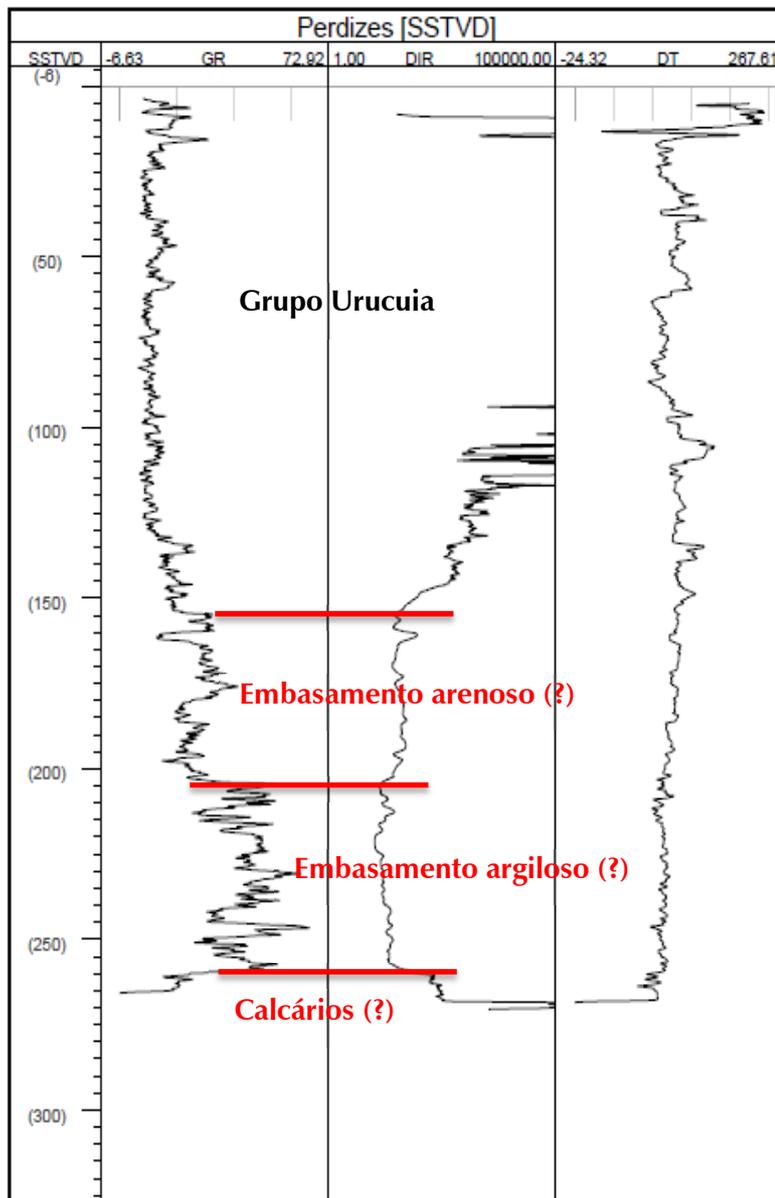
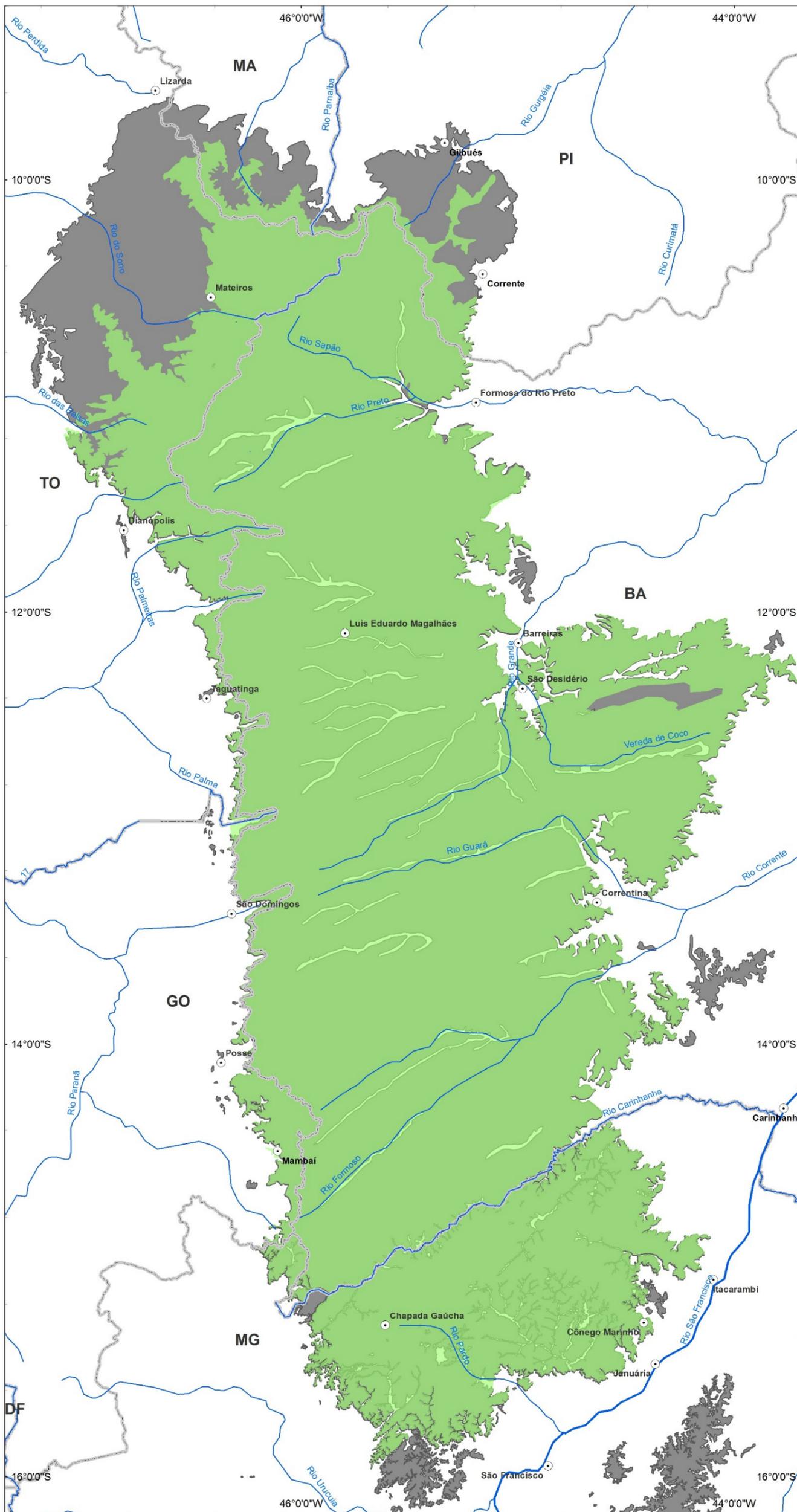


Figura 3.17 - Perfil geofísico do poço de Perdizes, município de São Desidério, BA (CPRM & UFBA, 2007).



Mapa de localização da área de estudo

Convenções Cartográficas

- Sede Municipal
- ~ Hidrografia
- Massas d'água
- Limite Estadual

Legenda

- ~ Rio São Francisco
- Limite SAU - CPRM (2007)
- Limites operacionais do SAU



PROJEÇÃO GEOGRÁFICA
 Datum Horizontal: SAD/69
 Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano 45° WGr
 Acrescidas as constantes: 10.000 km e 500 km, respectivamente



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

TÍTULO: Limites definidos em CPRM (2007) e limites operacionais considerados para o SAU neste estudo

ESCALA NUMÉRICA: 1:1.900.000 NÚMERO FIGURA: 3.18

ESCALA GRÁFICA: 0 5 10 20 30 40 km

Figura 3.18 - Limites definidos em CPRM (2007) e limites operacionais considerados para o SAU neste estudo.

3.1.3 Delimitação da Área Operacional do Sistema Aquífero Areado na Sub-Bacia Abaeté

O Sistema Aquífero Areado (SAA), conforme área operacional delimitada neste estudo, estende-se por uma área de 15.485 km² composta por rochas sedimentares e vulcanoclásticas, com idades atribuídas entre o Neocomiano e o Senoniano, distribuídas respectivamente nos grupos Areado e Mata da Corda; situadas no compartimento tectônico definido como sub-bacia Abaeté (Campos & Dardene, 1997b), porção sul da Bacia Sanfranciscana. Esse pacote rochoso encontra-se parcialmente sobreposto por coberturas cenozoicas e assenta-se diretamente sobre o embasamento cristalino proterozoico, representado por metassedimentos do Grupo Bambuí.

O registro sedimentar do SAA é mais diversificado e suas relações estratigráficas são mais complexas do que as encontradas no Sistema Aquífero Urucuia, na sub-Bacia Urucuia, porção norte da Bacia Sanfranciscana. Para identificação e caracterização dos aspectos litoestratigráficos e estruturais das rochas componentes do SAA, foram realizados levantamentos de campo, análise de modelos digitais de terreno (MDT), análise estrutural de lineamentos sobre imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e levantamentos geofísicos pelos métodos eletrorresistivo (Sondagem Elétrica Vertical – SEV), gravimétrico e eletromagnético (Sondagem Vertical no Domínio do Tempo – TDEM), além de cadastramento de poços tubulares.

O Sistema Aquífero Areado, definido pelo conjunto de unidades hidroestratigráficas que compõem este sistema, conforme aqui definido, estende-se por faixa orientada na direção nordeste com cerca de 250 km de comprimento e largura variável da ordem de 40 a 60 km. Na porção terminal sul da faixa ocorre um apêndice orientado na direção noroeste, com dimensões médias de 90 km de comprimento por 45 km de largura (Figura 3.19), no qual afloram predominantemente rochas do Grupo Mata da Corda.

Conforme referido anteriormente, a porção sul da área estudada (sub-bacia Abaeté) é composta pelas rochas mesozoicas reunidas nos Grupos Areado e Mata da Corda. O Grupo Areado compreende, da base para o topo, as unidades litoestratigráficas Abaeté, Quiricó e Três Barras, conforme definição proposta por Campos & Dardene (1997a). Essas unidades estão parcialmente recobertas por rochas vulcanossedimentares reunidas nas formações Patos e Capacete, do Grupo Mata da Corda ou mesmo interdigitadas com essas.

Na sub-bacia Abaeté, as rochas do Grupo Areado distribuem-se num corpo alongado principal e em vários núcleos bastante fragmentados e dispersos no entorno, segundo mapa elaborado por CPRM (2004) (Figura 3.19). Em termos hidrogeológicos esses afloramentos esparsos e fragmentados do corpo principal não apresentam conectividade hidráulica com o corpo principal. Além da ausência de conectividade, a espessura reduzida e a quantidade insuficiente de dados hidrodinâmicos disponíveis foram fatores preponderantes para a não inclusão desses núcleos dentro da área operacional do SAA. Assim, os limites operacionais considerados para o Sistema Aquífero Areado (SAA), na sub-bacia Abaeté são aqueles que englobam o corpo principal, conforme mostrado na Figura 3.19, e soma 15.485 km² de área. Por outro lado, não se pode desprezar a importância destas porções dispersas no que tange ao recebimento da

recarga direta propiciada pelas precipitações atmosféricas e à contribuição no escoamento de base dos cursos de água superficiais e recarga de aquíferos subjacentes, como o aquífero cárstico formado pelas rochas do Grupo Bambuí. O papel dessas coberturas arenosas permeáveis, sobrejacentes a rochas menos permeáveis, é reter e armazenar água proveniente das chuvas que, de outro modo, se juntariam ao escoamento superficial direto, e propiciar a infiltração contínua nos aquíferos subjacentes.

Na sequência são descritos sucintamente alguns afloramentos visitados nas atividades de campo realizadas em julho de 2012 e março de 2013 (Figuras 3.21 a 3.25), localizados sobre os limites operacionais do SAA (Figura 3.20).

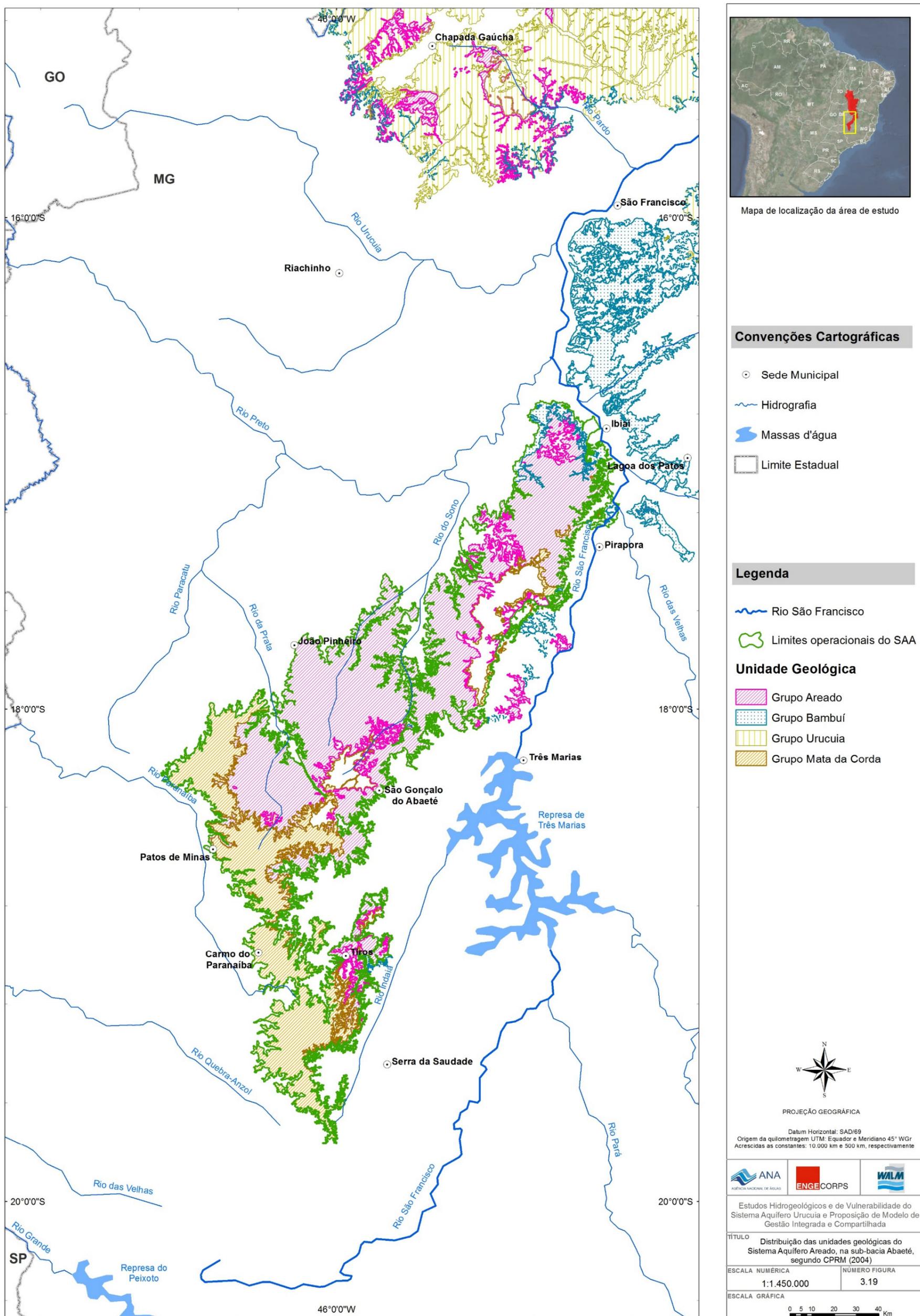
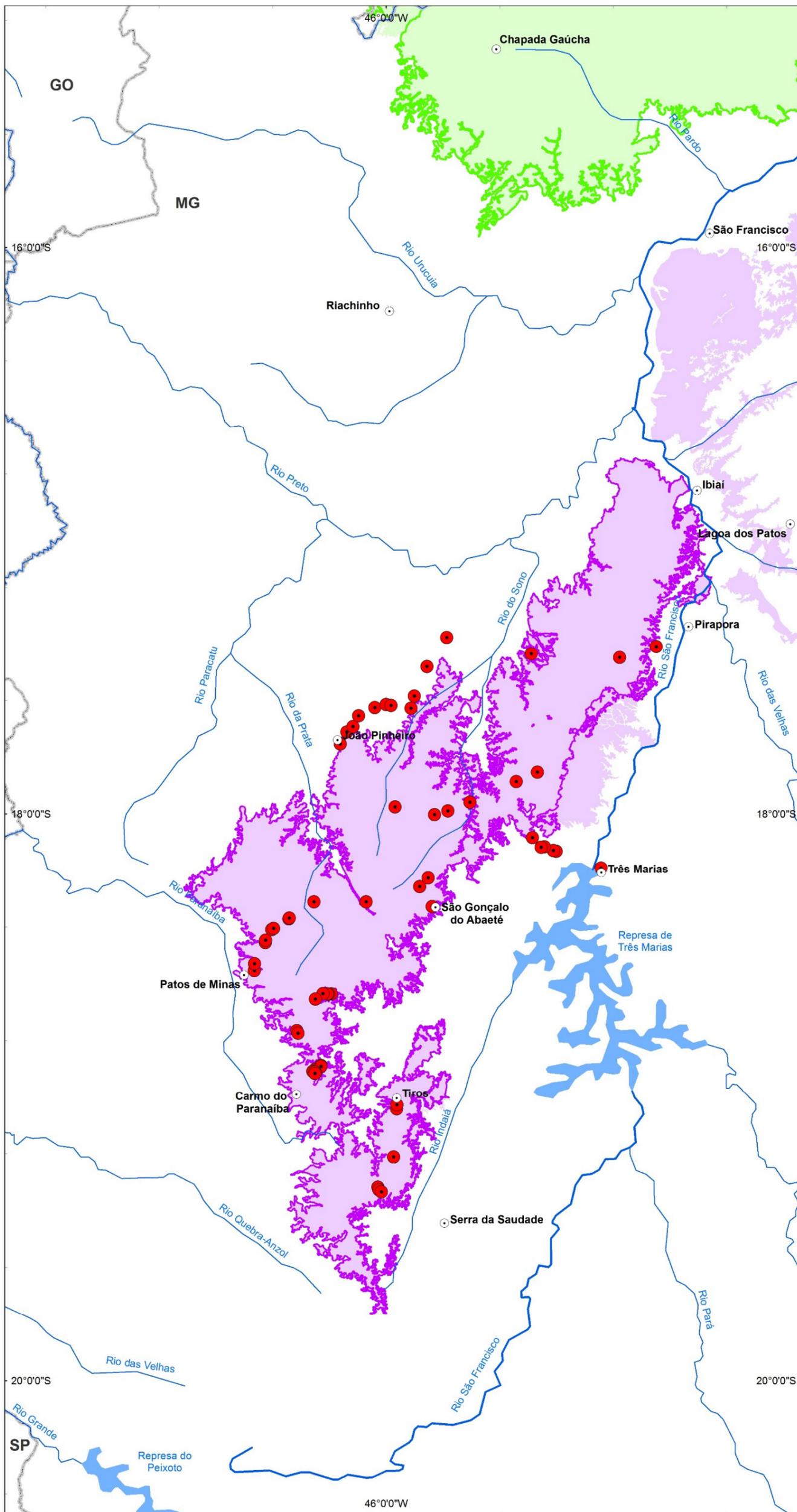


Figura 3.19 - Distribuição das unidades geológicas do Sistema Aquífero Areado, na sub-bacia Abaeté. Fonte: CPRM (2004).



Mapa de localização da área de estudo

Convenções Cartográficas

- Sede Municipal
- ~ Hidrografia
- Massas d'água
- Limite Estadual

Legenda

- Afloramentos Visitados
- ~ Rio São Francisco
- Limites operacionais do SAA
- Limites operacionais do SAU
- SAA
- SAU



PROJEÇÃO GEOGRÁFICA

Datum Horizontal: SAD/69
 Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano 45° WGr
 Acrescidas as constantes: 10.000 km e 500 km, respectivamente



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

TÍTULO
 Afloramentos visitados no Sistema Aquífero Areado

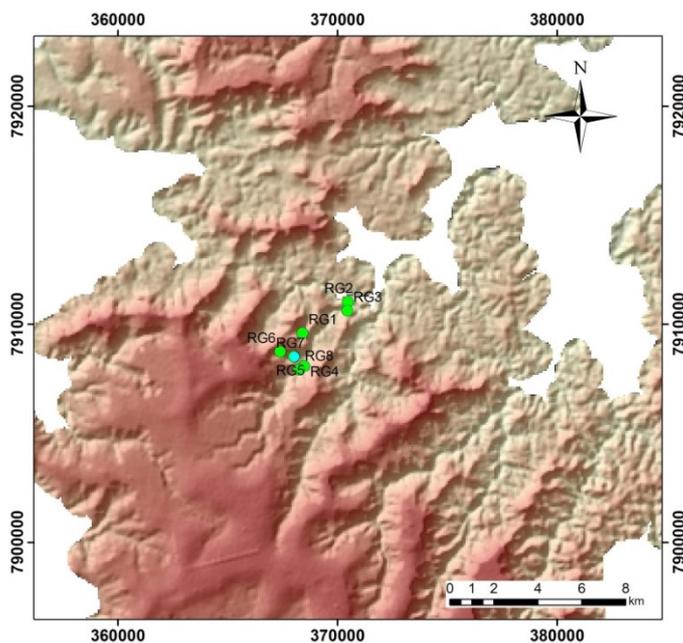
ESCALA NUMÉRICA	NÚMERO FIGURA
1:1.450.000	3.20

ESCALA GRÁFICA
 0 5 10 20 30 40 Km

Figura 3.20 - Afloramentos visitados na região do Sistema Aquífero Areado.



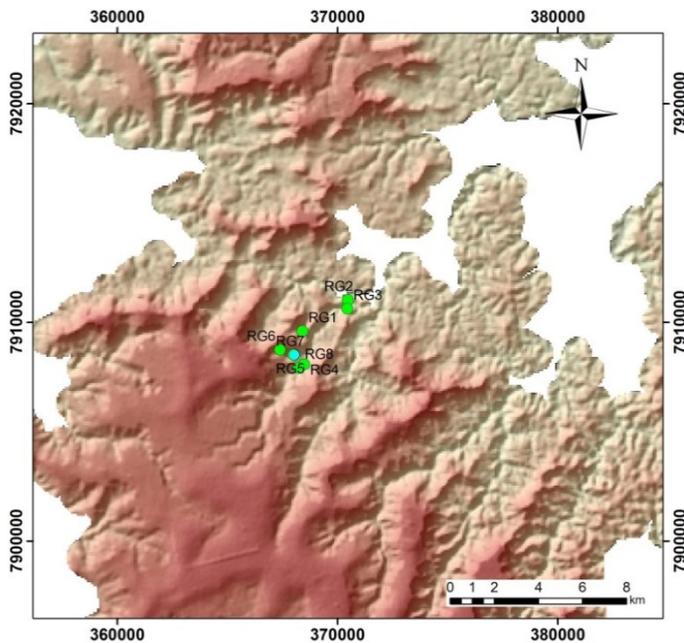
Figura 3.21 – Formação Abaeté (Carmo do Paranaíba, MG).



Conglomerado amarelo-avermelhado, clasto-suportado, com matriz areno-silto-argilosa e seixos centimétricos bem arredondados de quartzo, quartzito, chert e arcóseo (Figura 3.21). Ponto RG-4 (localização no mapa ao lado).



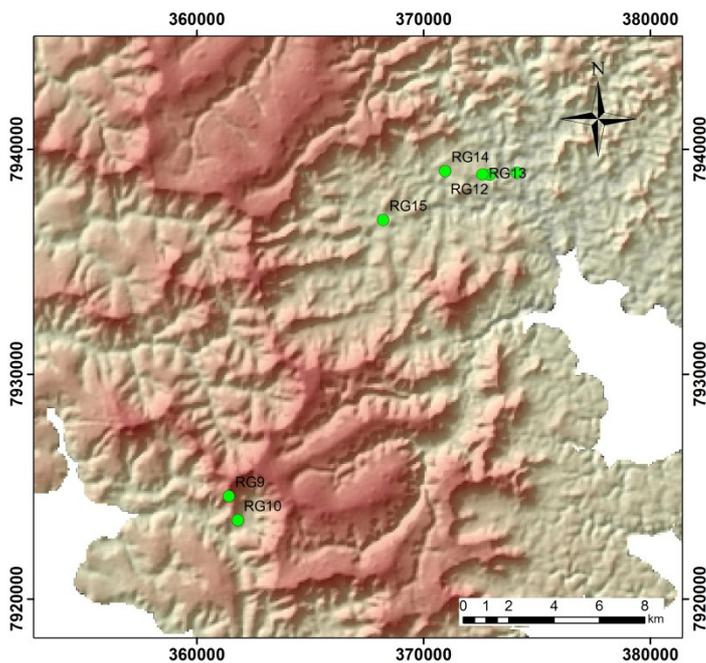
Figura 3.22 – Formação Quiricó (Carmo do Paranaíba, MG).



Pacote de rochas argilossiltosas vermelhas, com intercalações de argilas esverdeadas. Finas camadas de arenito fino estão intercaladas aos pelitos (Figura 3.22). Ponto RG-1 (localização no mapa ao lado).



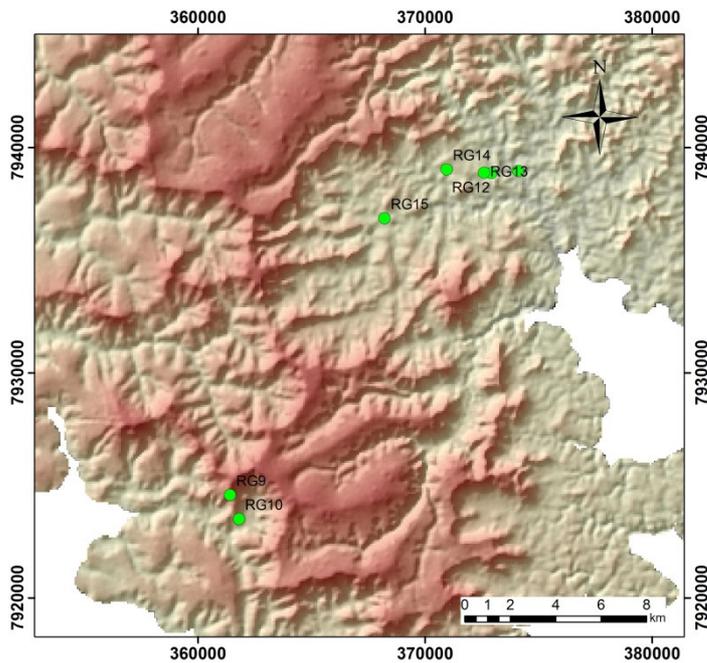
Figura 3.23 – Formação Três Barras (Patos de Minas, MG).



Pacote de arenito fino a médio, de coloração vermelha com tons esbranquiçados, levemente deformado, com presença de dobras convolutas e estratificações cruzadas tabulares e acanaladas (Figura 3.23). Ponto RG-13 (localização no mapa ao lado).



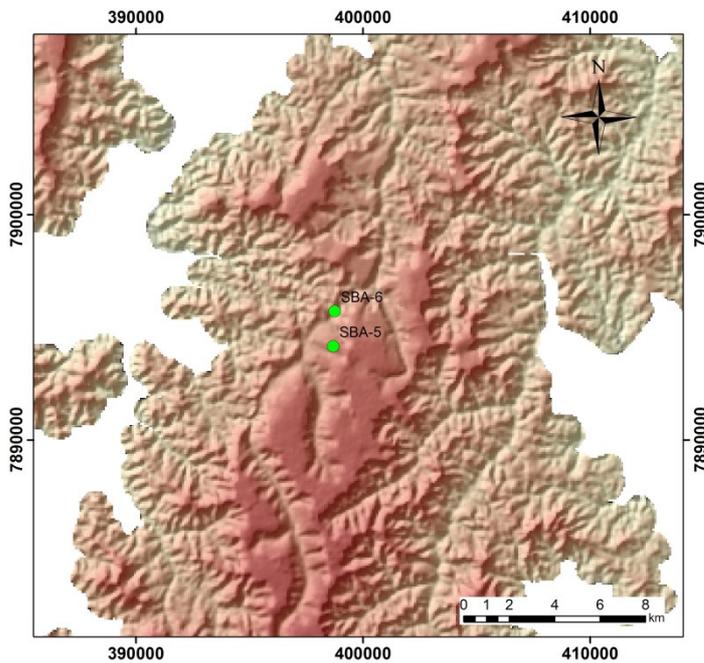
Figura 3.24 – Formação Patos (Lagoa Formosa, MG).



Sequência vulcânica muito intemperizada, com grande variação litológica. As rochas apresentam-se deformadas segundo a orientação N280/30 (Figura 3.24). Ponto RG-10 (localização no mapa ao lado).



Figura 3.25 – Conglomerados da Formação Capacete (Tiros, MG).



Conglomerado com matriz de areia fina e arenito fino avermelhado (Figura 3.25). Ponto SBA-6 (localização no mapa ao lado).

3.2 CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA

O estudo geomorfológico da área de abrangência dos sistemas aquíferos Urucuia (SAU) e Areado (SAA) teve como instrumento de apoio o levantamento geomorfológico elaborado em estudos anteriores, observações de campo realizadas neste projeto.

Para a criação da base de geomorfologia foram utilizados vários trabalhos, como: Projeto SIVAM da Força Aérea Brasileira (2006); Mapa Geomorfológico da Bahia, escala 1:1.000.000 da Conder (2002); Diagnóstico Ambiental de Minas Gerais, da Secretaria de Ciência e Tecnologia/MG, escala 1:1.000.000 (1982), elaborado pela Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC/MG; Projeto RADAMBRASIL, escala 1:1.000.000, Volumes 1 (1973) e 29 (1982); Maia et al. (2008); Mendes (2008).

Para a criação da base contínua foi fundamental o uso do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), cuja missão foi organizada pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*); do Manual Técnico de Geomorfologia do IBGE (2009), que auxiliou, sobretudo, na união dos atributos de cada área, gerando uma base concisa. E, por fim, é importante destacar também as imagens de satélite Landsat 5 e 7, que facilitaram o entendimento de nuances de relevo, bem como a sua própria utilização na confecção do uso da terra, que foi agregado na análise, sobretudo para eliminar eventuais dúvidas.

O SAU e o SAA abrangem dezoito Unidades Geomorfológicas que estão distribuídas em quatro Domínios Geomorfológicos:

- ✓ Bacias e Coberturas Sedimentares Fanerozoicas: Planaltos e Chapadas desenvolvidas em rochas sedimentares horizontais e sub-horizontais, por vezes dobradas e falhadas, depositadas em vários ambientes de sedimentação, dispostas no interior do continente.
- ✓ Cinturões Móveis Neoproterozoicos: Planaltos, alinhamentos serranos e depressões interplanálticas elaboradas em diversas rochas dobradas e falhadas, incluindo principalmente metamorfitos e granitoides associados.
- ✓ Crátons Neoproterozoicos: São caracterizados por planaltos residuais, chapadas e depressões interplanálticas, tendo como embasamento metamorfitos e granitoides associados, incluindo coberturas de rochas sedimentares e vulcanossedimentares, deformadas ou não.
- ✓ Depósitos Sedimentares Quaternários: Planícies e terraços de baixa declividade e, eventualmente, depressões modeladas sobre depósitos de sedimentos horizontais e sub-horizontais de ambientes fluviais, lacustres e/ou eólicos, dispostos no interior do continente.

No Quadro 3.1 são apresentadas as principais características das 18 Unidades Geomorfológicas, total ou parcialmente inseridas na área de abrangência dos sistemas aquíferos Urucuia e Areado, ilustradas na Figura 3.26.

Pelas características principais dos Domínios Geomorfológicos pode-se observar que em toda a região dos aquíferos prevalecem os planaltos e os depósitos sedimentares derivados da erosão destes planaltos.

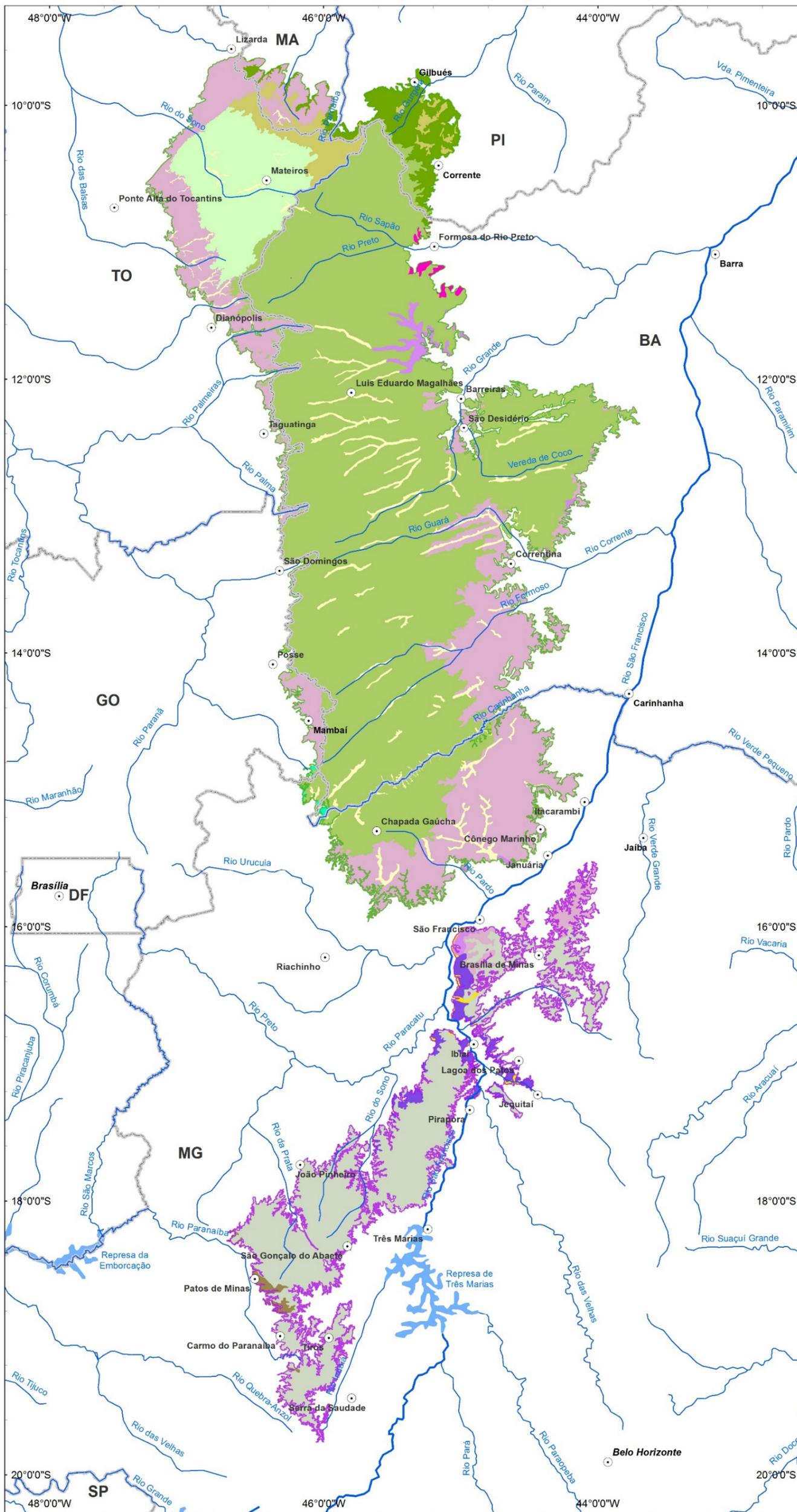
A caracterização geomorfológica se constituiu em ferramenta auxiliar de suma importância para a elaboração dos estudos hidrogeológicos realizados. A análise das formas de relevo e dos padrões de drenagem superficial representados no Modelo Digital de Terreno (MDT) revelou aspectos geológicos como a disposição sub-horizontal das camadas sedimentares em forma de chapada sobre o embasamento e os limites essencialmente erosivos do aquífero. Também auxiliou na delimitação da área operacional do SAU e na determinação das cotas do contato do aquífero com o embasamento.

A análise da rede de drenagem evidenciou segmentos lineares orientados, possivelmente associados a fraturas, e possibilitou uma análise estrutural desses elementos. Também devido à interação com as águas superficiais, as direções de fluxo subterrâneo puderam ser ajustadas no modelo hidrogeológico e no mapa potenciométrico do SAU e do SAA. Segundo Campos & Dardenne (1997b), os seis estágios de evolução tectônica da Bacia Sanfranciscana incluem a fase neotectônica responsável pela implantação do padrão paralelo de drenagem, o Cenozoico.

A drenagem superficial da área do SAU se faz, no geral, de oeste para leste, com deflúvio total no rio São Francisco. Esses rios configuram uma rede de drenagem com padrão paralelo a subparalelo, condicionado pela geometria do fraturamento imposto àquela área, num intervalo de direção N45-65E. Esse padrão imposto à drenagem é provavelmente reativação de fraturas existentes e bem representadas no Grupo Bambuí (N50-60E), com reflexos no Grupo Urucuia (Brasil, 1982) (Campos, 1996). Em maior detalhe, com ênfase nos pequenos tributários o padrão de drenagem é retangular, imposto por um fraturamento secundário, de direção aproximadamente NW-SE (Gaspar, 2006).

Excetua-se à direção de escoamento regional, os rios da parte nordeste do Chapadão Central, próximo das sedes municipais de Barreiras e São Desidério (BA), onde os rios que deságuam nos rios Grande e São Desidério, apesar de apresentarem direção preferência NE-SW, procedem de ambos os lados do chapadão. Nessa região os rios Grande e São Desidério formam um eixo receptor de águas de direção NW-SE, em decorrência de uma falha refletida nessa região mais oriental (Brasil, 1982).

No Projeto RADAM (Brasil, 1982) os rios dessa região apresentam-se normalmente cartografados com feições de ressaltos nas calhas das drenagens, representando um controle estrutural nas margens. Os rios têm vales assimétricos, com a presença de zonas alagadas, no geral, em apenas uma das margens, caracterizados pela presença de solos gleissolos (Campos 1996). A baixa densidade de drenagem, com valores de 0,1 a 0,2 km/km² é atribuída (Campos 1996) à alta capacidade de infiltração da cobertura de solo e dos arenitos do Grupo Urucuia. O grande distanciamento entre os rios também é uma característica marcante dos rios daquela região, que chegou a condicionar o início da ocupação da região às áreas próximas dos rios.



Mapa de localização da área de estudo

Convenções Cartográficas

- Sede Municipal
- ~ Hidrografia
- Massas d'água
- Limite Estadual

Legenda

- Rio São Francisco
- SAU
- SAA

Unidades Geomorfológicas

Depósitos Sedimentares Quaternários

- Várzeas e Terraços Aluviais
- Planícies Fluviais

Bacias e Coberturas Sedimentares Fanerozoicas

- Patamares das Mangabeiras
- Planalto de São Francisco
- Chapadas de Paracatu
- Cabeceiras do Parnaíba
- Chapada das Mangabeiras
- Chapadão Ocidental Baiano

Cinturões Móveis Neoproterozoicos

- Depressão do Rio Paranaíba

Crátons Neoproterozoicos

- Vão do São Francisco
- Depressão Sãofranciscana
- Depressão Interplanáltica de Paranaçuá
- Patamares do Chapadão Ocidental Baiano

PROJEÇÃO GEOGRÁFICA

Datum Horizontal: SAD/69
 Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano 45° WGr
 Acrescidas as constantes: 10.000 km e 500 km, respectivamente

ANA
 ENGE CORPS
 WALM

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

TÍTULO
 Geomorfologia na região dos Sistemas Aquíferos Urucuia e Areado

ESCALA NUMÉRICA
 1:3.000.000

ESCALA GRÁFICA
 0 10 20 40 60 80 Km

Figura 3.26 - Geomorfologia na região dos Sistemas Aquíferos Urucuia e Areado.

QUADRO 3.1 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS TOTAL OU PARCIALMENTE INSERIDAS NOS SISTEMAS AQUIFÉROS URUCUIA E AREADO

<i>Localização</i>	<i>Descrição</i>	<i>Principais Características das Unidades</i>
Chapada das Mangabeiras	Tipos predominantes de Uso das Terras	Formações arbustivas de Cerrado, Usos agrícolas e Formações Florestais de Cerrado.
	Cobertura pedológica predominante	Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos, Neossolo Quartzarênico órtico, Latossolos Amarelos distróficos, Chernossolo Argilúvico eutrófico
	Embasamento Litológico predominante	Sedimentar. Arenitos, Pelitos e Arenitos Conglomeráticos.
	Relação com o SAU	Pelo embasamento sedimentar, predominância de solos de matriz arenosa somado às baixas declividades observadas, a unidade se apresenta com potencial à recarga do aquífero.
Chapadão Ocidental Baiano	Tipos predominantes de Uso das Terras	Formações arbustivas de Cerrado, Usos agrícolas e Formações Florestais de Cerrado.
	Cobertura pedológica predominante	Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos, Neossolo Quartzarênico distrófico.
	Embasamento Litológico predominante	Sedimentar. Arenitos, Pelitos e Arenitos Conglomeráticos.
	Relação com o SAU	Pelo embasamento sedimentar, predominância de solos de matriz arenosa relacionando-se ao relevo tabular, a unidade se apresenta com potencial à recarga do aquífero.
Chapadas de Paracatu	Tipos predominantes de Uso das Terras	Formações arbustivas de Cerrado na porção norte e Usos agrícolas na porção Sul, ainda com intercalações de Formações Florestais de Cerrado.
	Cobertura pedológica predominante	Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos, Cambissolos Háplico e Neossolos Litólicos Háplicos.
	Embasamento Litológico predominante	Na porção norte são observados em sua maioria rochas sedimentares, como Arcóseos, Argilitos Aglomerados, Argilitos e Siltitos. Na porção Sul se observa predominantemente Arenitos, Conglomerados, Folhelhos, Arcóseos e Pelitos.
	Relação com o SAU	Não apresenta caráter de recarga como em unidades como Chapada das Mangabeiras e o Chapadão Ocidental Baiano, por apresentar litologias metamórficas, além de controles estruturais observados pelo sistema de drenagem. Apesar disso, a cobertura pedológica favorece a percolação da água no solo.
Patamares das Mangabeiras	Tipos predominantes de Uso das Terras	Formações arbustivas de Cerrado.
	Cobertura pedológica predominante	Nessolo Quartzarênico Órtico e Latossolo Amarelo Distrófico.
	Embasamento Litológico predominante	Sedimentar. Arenitos, Pelitos e Arenitos Conglomeráticos
	Relação com o SAU	Pelo embasamento sedimentar, predominância de solos de matriz arenosa somado às baixas declividades observadas, a unidade se apresenta com potencial à recarga do aquífero.

Continua...

QUADRO 3.1 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS TOTAL OU PARCIALMENTE INSERIDAS NOS SISTEMAS AQUÍFEROS URUCUIA E AREADO

<i>Localização</i>	<i>Descrição</i>	<i>Principais Características das Unidades</i>
Planalto de São Francisco	Tipos predominantes de Uso das Terras	Usos Agrícolas, Formações Florestais de Cerrado e Formações arbustivas de Cerrado.
	Cobertura pedológica predominante	Na porção mais ao Norte se apresentam Neossolos Quartzarênicos órticos e Argissolos Vermelhos Eutróficos e na porção Centro-sul observam-se Latossolos Amarelos Distróficos, Cambissolos Háplicos Distróficos e Neossolos Litólicos Distróficos.
	Embasamento Litológico predominante	Predominantemente Sedimentar, com Arenitos, Pelitos e Arenitos Conglomeráticos, Calcários e Argilitos, e isoladamente rochas metamórficas, como Quartzitos e Filitos
	Relação com o SAA	Pela presença de uma rede de drenagem de grande disponibilidade hídrica, tendo como calha principal o Rio São Francisco, bem como baixos gradientes topográficos e rochas sedimentares, geomorfologicamente a unidade se apresenta com potencial de recarga do aquífero.
Cabeceiras do Parnaíba	Tipos predominantes de Uso das Terras	Usos Agrícolas, Formações Florestais de Cerrado e Formações Florestais de Cerrado/Caatinga.
	Cobertura pedológica predominante	Neossolos Quartzarênicos Órticos e Latossolos Amarelos Distróficos.
	Embasamento Litológico predominante	Predominantemente Sedimentar, com Arenitos e Argilitos, e localmente (porção sudeste) metamórficas com ocorrência de Migmatitos e Ortognaisses
	Relação com o SAU	Com uma rede de drenagem encaixada, do tipo dendrítica, a unidade não se apresenta geomorfologicamente nas mesmas condições de recarga do SAU, como a Chapada das Mangabeiras e o Chapadão Ocidental Baiano
Depressão do Rio Parnaíba (SAA)	Tipos predominantes de Uso das Terras	Usos Agrícolas.
	Cobertura pedológica predominante	Latossolos Vermelhos Distróficos.
	Embasamento Litológico predominante	Na porção oeste observam-se rochas metamórficas, como Anfibólitos, Filitos e Quartzitos e na porção leste, rochas como Arenitos, Arcóseos e Argilitos.
Depressão Interplanáltica de Paraguaçu	Tipos predominantes de Uso das Terras	A unidade apresenta predominantemente Formações Florestais ecótonas dos biomas: Caatinga e Cerrado.
	Cobertura pedológica predominante	Neossolo Litólico Distrófico e Latossolo Vermelho-amarelos Distróficos.
	Embasamento Litológico predominante	Na unidade observam-se litologias predominantemente metamórficas (Filitos, Xistos, Quartzitos e Migmatitos) e em segundo plano as ígneas
	Relação com o SAU	Pela litologia sedimentar e pelos processos fluviais a unidade apresenta, nessa porção da ocorrência do SAU, potencial à recarga, exceto nas áreas de ocorrência de litologia ígnea e consequentes relevos dissecados.

Continua...

Continuação.

QUADRO 3.1 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS TOTAL OU PARCIALMENTE INSERIDAS NOS SISTEMAS AQUÍFEROS URUCUIA E AREADO

<i>Localização</i>	<i>Descrição</i>	<i>Principais Características das Unidades</i>
Depressão São Franciscana	Tipos predominantes de Uso das Terras	A unidade apresenta predominantemente Usos Agrícolas, Formações herbácea-arbustivas de Cerrado e em menor proporção, Formações Florestais de Cerrado.
	Cobertura pedológica predominante	Na porção centro-leste e centro-sul observam-se Latossolos Vermelho-amarelos Distróficos, Latossolos Vermelhos Distróficos, Neossolos Litólicos distróficos e Cambissolos Háplicos Distróficos. Na porção centro-norte observa-se forte ocorrência de Neossolos Quartzarênicos Distróficos.
	Embasamento Litológico predominante	Na unidade observam-se litologias predominantemente Ígneas, como aglomerados e lateritas e subordinadamente, se relacionando às calhas fluviais, rochas sedimentares, como Arenitos e Arcóseos, além de sedimentos inconsolidados nas calhas dos rios.
	Relação com o SAA	Pelas características de baixas declividades e litologias sedimentares e carbonáticas essa porção do SAA se apresenta com potencial à sua recarga.
Patamares do Chapadão Ocidental Baiano	Tipos predominantes de Uso das Terras	A unidade apresenta em sua porção Noroeste predominantemente Formações herbácea-arbustivas de Cerrado, Formações Florestais de Cerrado e Usos Agrícolas. Em sua porção Sudeste os principais padrões de usos das terras são: Formações Arbustivas de caatinga, Formações Florestais de caatinga, Formações arbustivas de Cerrado, Formações Florestais de Cerrado e em menor expressão, Usos Agrícolas.
	Cobertura pedológica predominante	Na porção Noroeste da unidade observam-se a ocorrência de Neossolos Quartzarênicos Órticos, Cambissolos Háplicos Eutróficos e Cambissolos Háplicos Distróficos e Nitossolos Vermelhos Eutróficos. Na porção Sudeste, observa-se a ocorrência de Neossolos Quartzarênicos Distróficos, Cambissolos Háplicos Eutróficos, Argissolos Vermelhos Eutróficos e Neossolos Litólicos Distróficos.
	Embasamento Litológico predominante	Na porção Noroeste da unidade são observadas litologias predominantemente sedimentares, como Arenitos, Arenitos Conglomerados, Pelitos, Além de rochas carbonáticas. Na porção Sudeste o padrão se mantém, além de Argilitos, Calcários, Folhelhos e Siltitos
	Relação com o SAU e SAA	Pelas características de baixas declividades e litologias sedimentares e carbonáticas, essa porção do SAU e SAA se apresenta com potencial a sua recarga.

Continua...

QUADRO 3.1 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS TOTAL OU PARCIALMENTE INSERIDAS NOS SISTEMAS AQUÍFEROS URUCUIA E AREADO

<i>Localização</i>	<i>Descrição</i>	<i>Principais Características das Unidades</i>
Vão do São Francisco (SAU e SAA)	Tipos predominantes de Uso das Terras	Porção Norte: a unidade apresenta predominantemente Formações Arbustivas e Florestais Ecótonas (Cerrado/Caatinga), Formações Florestais de Cerrado. Na porção central observam-se Formações Florestais de Caatinga, Formações Arbustivas Ecótonas (Cerrado/Caatinga) e Usos Agrícolas. Na porção Sul observam-se Formações Florestais de Caatinga, Usos Agrícolas e Formações Florestais de Cerrado.
	Cobertura pedológica predominante	Porção Norte: apresenta Latossolos Vermelho-amarelo Distróficos, Neossolos Quartzarênicos Órticos, Neossolos Quartzarênicos Distróficos Cambissolos Háplicos Eutróficos. Na porção Central, observam-se Cambissolos Háplicos Distróficos, apresenta Latossolos Vermelho-amarelo Distróficos, Latossolos Vermelhos Eutróficos, Neossolos Flúvicos Eutróficos, Argissolos Vermelho-amarelos Eutróficos. E na porção Sul da unidade observam-se Neossolos Quartzarênicos Distróficos, Neossolos Litólicos Distróficos e Cambissolos Háplicos Distróficos predominantemente.
	Embasamento Litológico predominante	Na porção Norte as litologias predominantes são Sedimentares ou Ígneas, como arenitos, Aglomerados, Lateritas, Arcóseos e Folhelhos. Na porção Central o padrão se repete e somam-se litologias calcárias. Na porção Sul observam-se Aglomerados, Lateritas, Arenitos, Siltitos e Calcários.
Várzeas e Terraços Aluviais (SAA)	Tipos predominantes de Uso das Terras	A unidade apresenta predominantemente com Formações Florestais de Cerrado, Vegetações associadas a cursos d'água, Usos Agrícolas e Formações herbácea-arbustivas de Cerrado.
	Cobertura pedológica predominante	Latossolos Vermelho-amarelos Distróficos, Neossolos Flúvicos Eutróficos, Latossolos Vermelho Eutróficos, Argissolos Vermelho-amarelos Eutróficos.
	Embasamento Litológico predominante	Predominantemente Sedimentar como Arcóseos, Aglomerados, Argilitos e sedimentos inconsolidados.
Planícies Fluviais	Tipos predominantes de Uso das Terras	A unidade apresenta predominantemente Usos Agrícolas, Formações Florestais de Cerrado e Formações herbácea-arbustivas de Cerrado.
	Cobertura pedológica predominante	Via de regra a unidade apresenta Gleissolos Háplicos Distróficos ou Neossolos Quartzarênicos Órticos (esses apenas em sua ocorrência a Noroeste da área).
	Embasamento Litológico predominante	Predominantemente Sedimentar (Arenitos, Arenitos Conglomeráticos e Pelitos). Condicionados às calhas fluviais, cascalhos e sedimentos inconsolidados,
	Relação com o SAU	Pelas baixas declividades e litologias sedimentares, essa unidade que ocorre ao longo de toda a área do SAU se apresenta com potencial a sua recarga, principalmente pelo ambiente saturado em que se encontra.

3.3 CARACTERIZAÇÃO TECTÔNICA

3.3.1 Geologia Estrutural Regional

A Bacia Sanfranciscana é considerada, segundo a hipótese mais aceita, como do tipo sag (Campos & Dardenne, 1997b), caracterizada por ser uma bacia intracontinental com pequena subsidência e, conseqüentemente, com espessura sedimentar reduzida, tectônica pouco pronunciada e afetada por processos tafrogênicos incipientes, cuja evolução deu-se desde o Paleozoico até o Cenozoico (fase neotectônica).

O embasamento da Bacia Sanfranciscana é constituído em sua maior parte pelo Grupo Bambuí, além de rochas sedimentares paleozoicas ao norte da bacia (relacionadas à Bacia do Parnaíba), rochas metamórficas paraderivadas de baixo grau a sul (Grupos Araxá e Canastra) e rochas granito-gnáissicas a meio norte da bacia (Campos & Dardenne, 1997b).

A Bacia Sanfranciscana é delimitada a oeste e a leste por extensas faixas de dobramentos e cavalgamentos (*thrust-and-folded belts*) brasileiras, representadas respectivamente pelas Faixas Brasília e Araçuaí/Espinhaço Setentrional. Ao sul, o limite é dado pela Flexura de Goiânia/Soerguimento do Alto Parnaíba, separando a Bacia Sanfranciscana da Bacia do Paraná. Ao norte, o limite dá-se pelo Arco do São Francisco, separando a Bacia Sanfranciscana da Bacia do Parnaíba (Figura 3.27).

Para Campos & Dardenne (1997), o Alto Parnaíba comportou-se como alto estrutural desde o Mesoproterozoico (1,6 Ga). No Cretáceo Inferior (Aptiano – 125 Ma) foi reativado por evento magmático alcalino que deu origem a corpos de filiação kimberlitoide e carbonatítica (Bizzi *et al.*, 1991 *apud* Campos & Dardenne, 1997b), e serviu de barreira divisória entre a sedimentação das bacias Sanfranciscana e do Paraná.

O Arco de São Francisco, segundo Martins *et al.* (1993 *apud* Campos & Dardenne, 1997), representa um divisor entre a porção norte da Bacia Sanfranciscana e porção sul da Bacia do Parnaíba, constituído por um bloco alto pouco estudado e compreendido.

A Bacia Sanfranciscana é segmentada em duas sub-bacias, Abaeté a sul e Urucuia a norte (Campos & Dardenne, 1997b), por uma elevação regional do embasamento denominada de Alto de Paracatu. A origem deste alto pode estar relacionada a mecanismos de reequilíbrios flexurais da litosfera, em resposta à sobrecarga lateral associada à orogenia Brasileira (Campos & Dardenne, 1997b).

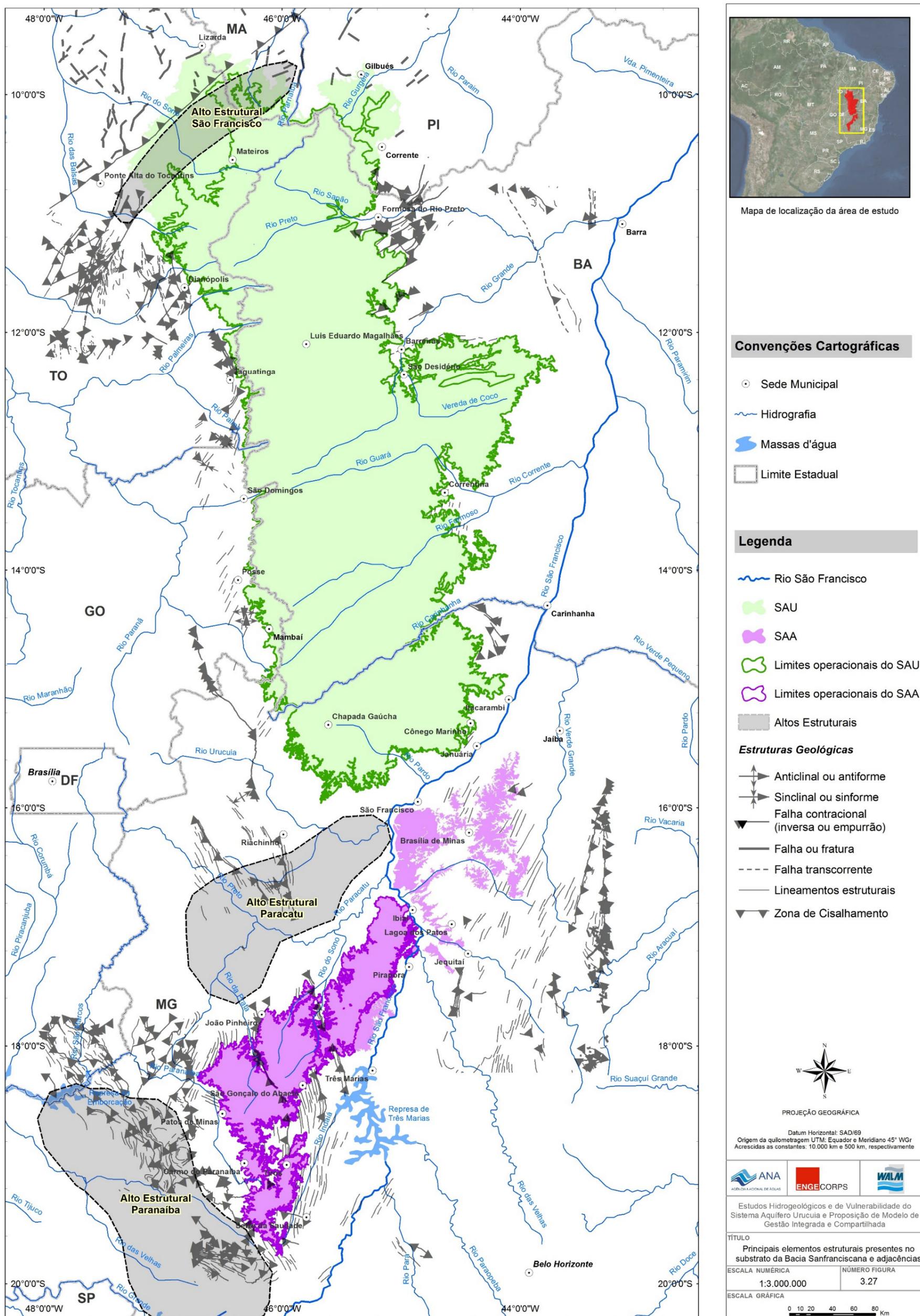


Figura 3.27 - Principais elementos estruturais presentes no substrato da Bacia Sanfranciscana e adjacências.

Seis estágios tectônicos representados pelos períodos Paleozoico, Neopaleozoico-Eomesozoico, Eocretáceo, Mesoneocretáceo, Neocretáceo e Terciário marcaram a evolução da Bacia Sanfranciscana (Campos & Dardenne, 1997b).

3.3.2 Identificação de Lineamentos

Para a identificação e interpretação de lineamentos estruturais da área de estudo foram inicialmente utilizadas imagens do satélite Landsat 7, especificamente a banda 5, ideal para identificação de feições de relevo e com resolução espacial de 30 m, e a banda 8, pancromática e com resolução espacial de 15 m, disponíveis no catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

As imagens de satélite, todavia, não permitiram distinguir lineamentos estruturais com a precisão exigida pela escala de trabalho. Alternativamente, foram empregadas imagens da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) com resolução espacial de 90 metros, disponibilizadas no site da Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (www.relevobr.cnpm.embrapa.br). As imagens SRTM foram integradas em mosaico com emprego do *software ArcGIS 10*. Em seguida, foi elaborado um modelo digital de terreno (MDT) que serviu de base para a identificação e classificação de lineamentos.

A análise exploratória de lineamentos em imagens SRTM para cada ordem nas duas sub-bacias identificou padrões de maneira geral concordantes com o modelo apresentado por Campos & Dardenne (1997b).

Na Sub-Bacia Abaeté, os lineamentos de 1ª ordem apresentam duas direções preferenciais. A principal, de maior frequência, com direção N70W, e a secundária, com direção N20-40E. A direção principal N70W, derivada de falhas transcorrentes influenciadas pela abertura do Oceano Atlântico, condiz com a tectônica transtativa do Neocretáceo. A direção secundária também pode ser associada às respostas dos campos de tensão da tectônica transtativa.

As direções preferenciais dos lineamentos de 2ª ordem são menos destacadas, mas apresentam pelo menos três direções sobressalentes: N55-90W, NS e N45-65E. Os lineamentos de 3ª ordem possuem direções relativamente concordantes com os lineamentos de 2ª ordem.

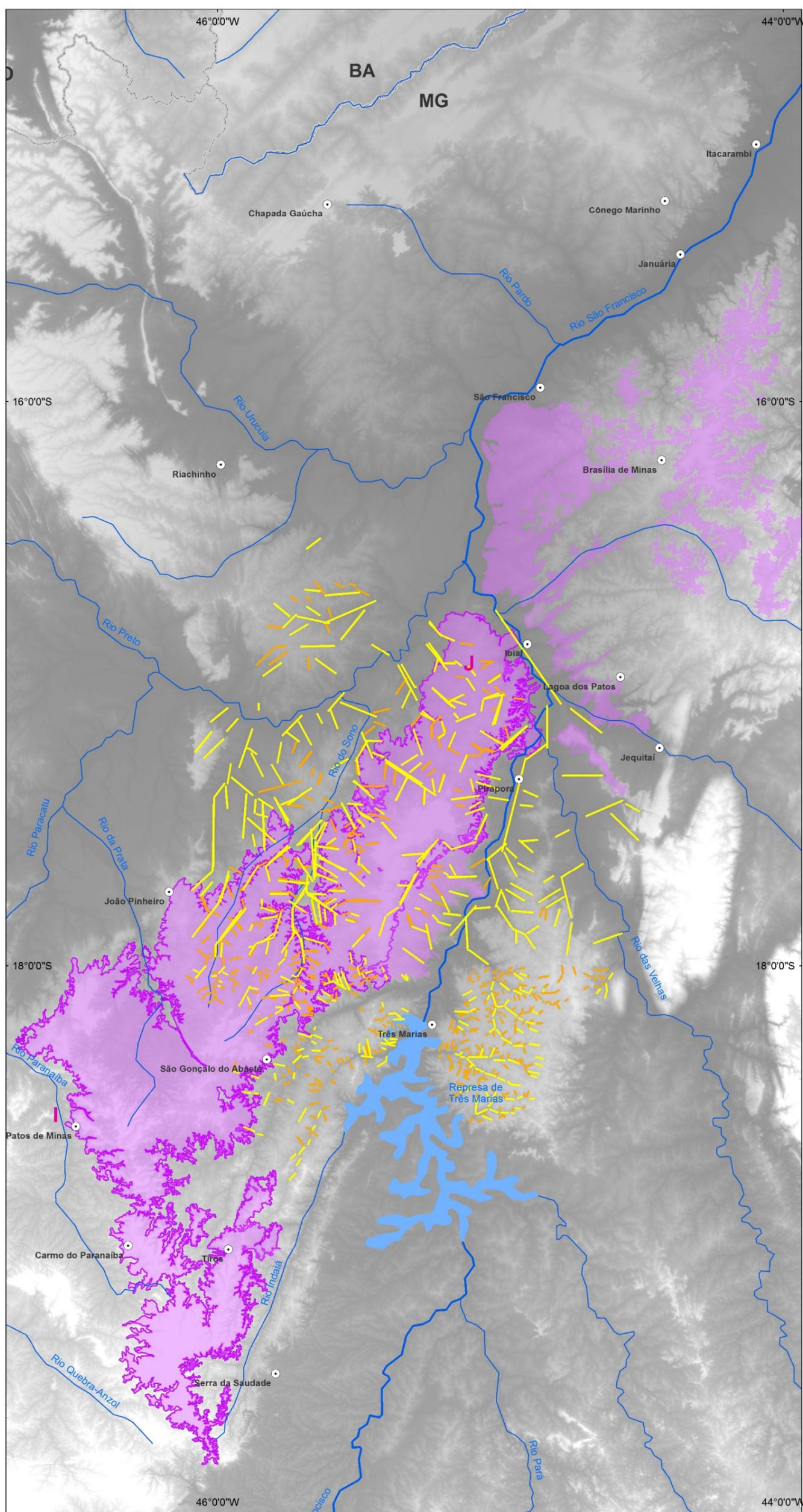
Em suma, pode-se observar que os lineamentos de 1ª ordem, geralmente maiores e mais expressivos regionalmente, refletem a tectônica transtrativa cretácea, e que os lineamentos de 2ª e 3ª ordens, nas direções aproximadas de N70W e NE, embora representem traços menores, menos contínuos e menos expressivos regionalmente, também refletem os mesmos esforços transtativos atuantes na placa continental.

Na Sub-Bacia Urucuia, os lineamentos de 1ª ordem apresentam direção preferencial N60-70E. Esta direção marcante na Sub-Bacia Urucuia resulta de processos neotectônicos, os quais reativaram lineamentos com par conjugado pouco desenvolvido ou praticamente inexistente, de sistemas cisalhantes do embasamento.

Os lineamentos de 3ª ordem apresentam direção preferencial N20-30W, perpendicular à direção preferencial dos lineamentos de 1ª ordem, podendo representar os pares conjugados dos lineamentos de 1ª ordem que refletem os esforços cisalhantes neotectônicos, descritos por Campos & Dardenne (1997b).

Os lineamentos de 2ª ordem da Sub-Bacia Urucuia estão no meio termo entre os lineamentos de 1ª e de 3ª ordens, apresentando as direções preferenciais N60-70E, e N20-30W.

As Figuras 3.28 a 3.30 apresentam, respectivamente, os mapas de lineamentos interpretados em imagens SRTM para a área geral de estudo e para as Sub-Bacias Abaeté e Urucuia.



Mapa de localização da área de estudo

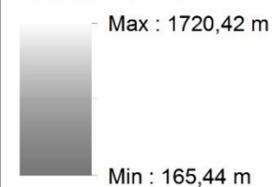
Convenções Cartográficas

- Sede Municipal
- ~ Hidrografia
- Massas d'água
- Limite Estadual

Legenda

- ~ Rio São Francisco
- Lineamentos de 1ª ordem
- Lineamentos de 2ª ordem
- SAA
- Limites operacionais do SAA

Imagens Topodata



PROJEÇÃO GEOGRÁFICA

Datum Horizontal: SADI/69
 Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano 45° WGr
 Acrescidas as constantes: 10.000 km e 500 km, respectivamente



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

TÍTULO
 Mapa de lineamentos interpretados a partir de imagens SRTM para sub-bacia Abaeté

ESCALA NUMÉRICA: 1:1.450.000 NÚMERO FIGURA: 3.29

ESCALA GRÁFICA: 0 5 10 20 30 40 Km

Figura 3.29 - Mapa de lineamentos interpretados a partir de imagens SRTM para sub-bacia Abaeté.

3.3.3 *Evolução Tectônica da Bacia Sanfranciscana*

Segundo Chang *et al.* (1992), o período Aptiano/Albiano marca a mudança no campo de tensões de extensional para compressional, decorrente da passagem do estágio rifte para pós-rifte, associado à evolução geodinâmica da placa Sul Americana. Em consequência desta inversão de polaridade, regiões potencialmente subsidentes como aquelas ocupadas hoje pelo Grupo Urucuia foram deflexionadas sob a ação da tensão intraplaca. A ausência de compartimentação por falhas sindeposicionais, aliada à pequena espessura (poucas centenas de metros) e à sua grande continuidade lateral, suportam um modelo de preenchimento de calha tipo sag, produzido por tensões intraplacas compressionais.

A evolução tectônica da Bacia Sanfranciscana está bem discutida e fundamentada em trabalho apresentado por Campos & Dardenne (1997b). Os autores concordam que as características gerais da bacia mostram uma tectônica pouco pronunciada, harmonizada com modelo de preenchimento de calha tipo sag, apenas localmente afetada por incipientes processos tafrogênicos, contrariando a hipótese de evolução por rifteamento continental sugerida pela sua disposição geral norte-sul. Estes autores advogam uma fase extensiva inicial, relacionada à abertura do Atlântico-Sul, para início da geração da Sub-Bacia Abaeté no Eocretáceo. No Mesocretáceo, uma inversão tectônica da bacia teria sido a responsável pela geração da Sub-Bacia Urucuia. No Neocretáceo, o magmatismo alcalino se implanta na Sub-Bacia Abaeté, e no Cenozoico, os ajustes isostáticos dão sua conformação atual e condicionam o sistema de drenagem das bacias hidrográficas.

Na concepção atual, as rochas cretáceas da Bacia Sanfranciscana estão seccionadas nas sub-bacias Abaeté, a sul, e Urucuia, ao centro-norte, pelo Alto Estrutural do Paracatu (Campos & Dardenne, 1997b), elevação regional do embasamento que teria separado essas duas sub-bacias no Mesocretáceo, influenciando a história evolutiva da Bacia Sanfranciscana. Para Campos & Dardenne (1997b), o desenvolvimento tectônico das duas sub-bacias apresenta diferenças bastante marcantes, tanto na intensidade do campo de *stress* quanto na ausência de um evento pronunciado na Sub-Bacia Urucuia. Esta concepção é baseada, em parte, em dados gravimétricos e dados sísmicos de exploração petrolífera, que mostram de fato um adelgaçamento dos metassedimentos do Grupo Bambuí nesta região.

Seções altimétricas transversais da Sub-Bacia Urucuia mostram que a forma atual da bacia de acumulação é uma calha de direção aproximada NNW, com os bordos Este e Oeste do embasamento alçados em relação ao seu eixo, conforme exemplificado pela seção W-E da Figura 3.31. Esta configuração é consistente com esforços compressionais de direção ENE, também responsáveis pela geração dos sistemas de fraturas que seccionam o pacote sedimentar.

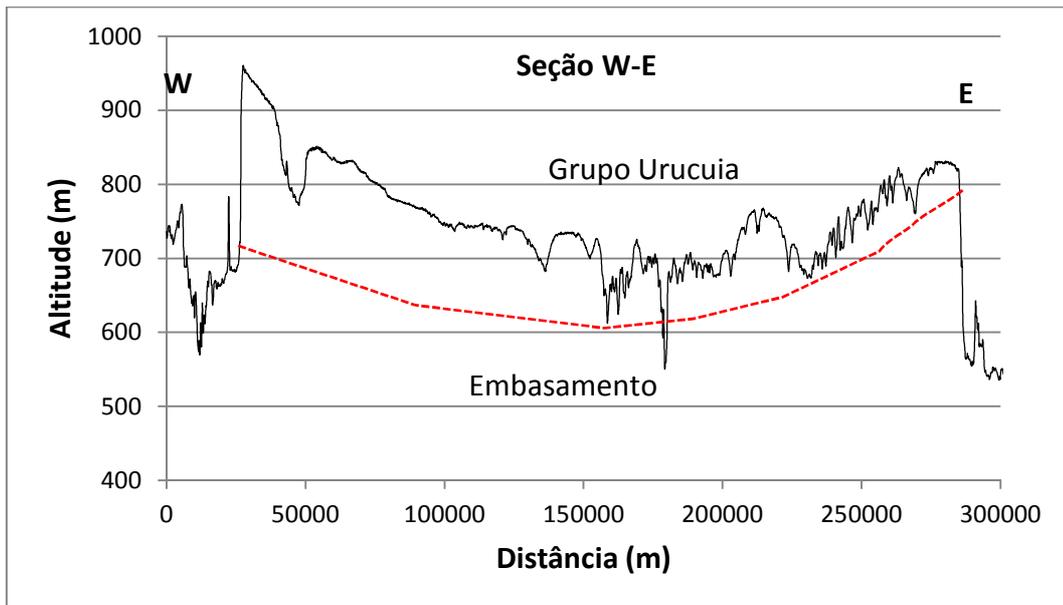


Figura 3.31 - Seção altimétrica transversal W-E da sub-bacia Urucuia.

Seção altimétrica longitudinal sobre a área de ocorrência das rochas do Grupo Areado, na Sub-bacia Abaeté, mostra uma superfície um pouco irregular, com caimento da ordem de 0,1% para NE, no mesmo sentido de caimento da superfície topográfica atual (Figura 3.32).

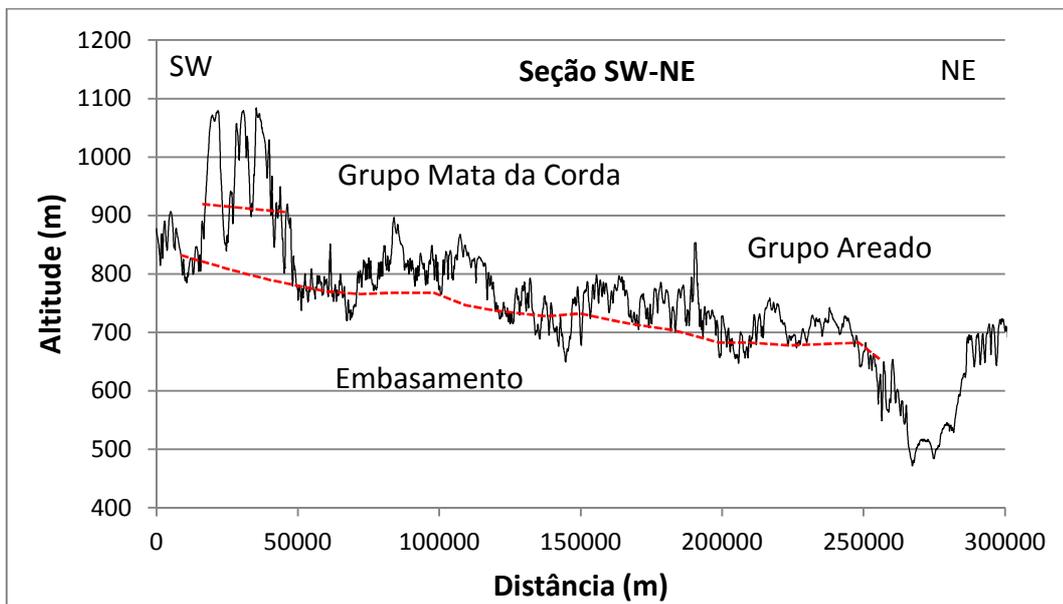


Figura 3.32 - Seção altimétrica longitudinal SW-NE da sub-bacia Abaeté.

Todavia, seção altimétrica longitudinal cruzando as sub-bacias Abaeté e Urucuia mostra que o Alto de Paracatu não se reflete na fisiografia atual (Figura 3.33). Ao contrário, essa região coincide com um baixo topográfico arrasado pelos processos erosivos que se estenderam por quase todo o período cenozoico. A referida seção altimétrica mostra uma inflexão negativa do topo do embasamento na altura do Alto de Paracatu e um levantamento mais acentuado da porção relativa à Sub-Bacia Abaeté.

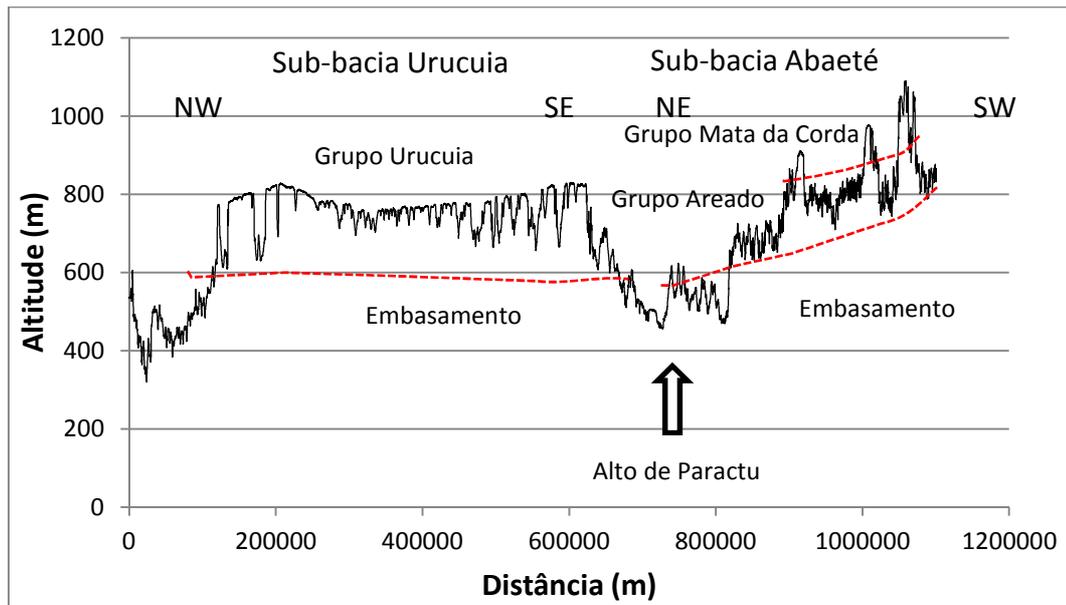


Figura 3.33 - Seção altimétrica longitudinal NW-SE e NE-SW.

A localização das seções altimétricas está apresentada na Figura 3.34.

Essa conformação atual do embasamento não favorece a interpretação do modelo paleogeográfico de evolução regional da Bacia Sanfranciscana proposto por Campos & Dardenne (1997b), no qual a compartimentação do substrato na região do Alto de Paracatu teria proporcionado uma evolução diferenciada para as sub-bacias Abaeté e Urucuia. Ao contrário, a ocorrência de sedimentos atribuídos ao Grupo Urucuia na porção sul da Sub-Bacia Abaeté, em contato direto com o embasamento, e sedimentos atribuídos ao Grupo Areado, tidos como mais antigos, também em contato direto com o embasamento, mas em posição altimétrica relativamente mais elevada (Figura 3.33), sugerem deposição síncrona para estes grupos. Estudos realizados por Sgarbi (2000) com base em aspectos geomorfológicos, litológicos e de ambientes sedimentares reforçam esta assertiva ao concluírem que não existem diferenças entre depósitos dos grupos Urucuia e Areado.

Assim, a sedimentação teria se iniciado com a deposição da Formação Quiricó em ambiente lacustre raso, sobre depressão do embasamento provavelmente bastante irregular da Sub-Bacia Abaeté, no Barremiano. Sistema flúvio-eólico marginal proveu sedimentos que gradativamente foram preenchendo esta depressão e estendendo a sedimentação para outros setores da bacia. Nesta fase, que perdurou durante todo o Cretáceo Inferior e, eventualmente, atingiu o Cretáceo Superior, deve ter-se iniciado a deposição também na Sub-Bacia Urucuia. Do Coniaciano ao Campaniano, vulcanismo alcalino e seus produtos derivados de retrabalhamento cobriram as rochas sedimentares pré-existentes e interagiram com a sedimentação flúvio-eólica, ainda em progressão. Os processos predominantemente erosivos, decorrentes dos movimentos epirogenéticos atuantes a partir do Cenozoico, modelaram a paisagem e deram a conformação atual à superfície topográfica.

3.4 CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA

A classe de solos predominantes da região dos Cerrados e, também, na maior parte de ocorrência do SAU e SAA são os Latossolos, que ocorrem em 46% da área. Esses tipos de solos podem apresentar uma coloração variando do vermelho para o amarelo, são profundos, bem drenados na maior parte do ano, apresentam acidez, toxidez de alumínio e são pobres em nutrientes essenciais (como cálcio, magnésio, potássio e alguns micronutrientes) para a maioria das plantas.

Além desses, têm-se os solos pedregosos e rasos (Neossolos Litólicos), geralmente presentes nas encostas; os arenosos (Neossolos Quartzarênicos); os orgânicos (Organossolos) e outros de menor expressão (<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>).

Especificamente em relação ao oeste do Estado da Bahia os solos são em geral homogêneos, tendo como material de origem as rochas arenosas do Grupo Urucuia, que compõem um sistema aquífero do tipo intergranular. São solos, na maioria, desenvolvidos numa área de relevo plano, com inclinação para leste inferior a 5%, no extenso chapadão do oeste baiano, principal área de recarga do Sistema Aquífero Urucuia (Gaspar *et al.*, 2006).

O Quadro 3.2, a seguir, consolida os principais tipos de solos identificados na área de abrangência do SAU e SAA, pelos diversos Estados, e suas respectivas correlações com a cobertura vegetal associada.

QUADRO 3.2 - TIPOS DE SOLO NA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO SAU E SAA E COBERTURA VEGETAL ASSOCIADA

<i>Estado</i>	<i>Cobertura Vegetal</i>	<i>Solo</i>	<i>Município de ocorrência</i>
BA	Cerrado	Latossolo Vermelho-Amarelo	Formosa do Rio Preto/ São Desidério/ Barreiras/ Catolândia/ Cristópolis/ Luís Eduardo Magalhães
		Latossolo Vermelho-Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo, Neossolos Quartzarênicos (Areias Quartzosas)	Coribe/ Correntina/ Feria da Mata/ Riachão das Neves/ Santana/ Taboca do Brejo Velho
		Latossolo Vermelho-Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo, Neossolos Quartzarênicos (Areias Quartzosas), Solos Halomórficos	Muquém de São Francisco
		Latossolo Vermelho-Amarelo, Neossolos Quartzarênicos (Areias Quartzosas)	Jaborandi
		Latossolo Vermelho-Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo	Brejolândia/ Baianópolis
		Latossolo Vermelho-Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo Equivalente Eutrófico	Angical

Continua...

QUADRO 3.2 - TIPOS DE SOLO NA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO SAU E SAA E COBERTURA VEGETAL ASSOCIADA

<i>Estado</i>	<i>Cobertura Vegetal</i>	<i>Solo</i>	<i>Município de ocorrência</i>
BA	Cerrado/Caatinga	Latossolo Vermelho-Amarelo, Neossolos Quartzarênicos	Cocos
		Latossolo Vermelho-Escuro Neossolos Quartzarênicos	Carinhanha
	Floresta Estacional Decidual	Latossolo Vermelho-Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo, Neossolos Quartzarênicos	Cotegipe/ Wanderley/ Canápolis
	Floresta Estacional Decidual/Floresta Estacional Semidecidual	Argissolo Vermelho-Amarelo, Neossolos Quartzarênicos	Santa Maria da Vitória
		Argissolo Vermelho-Amarelo	São Félix do Coribe
		Latossolo Vermelho-Amarelo, Podzólico Vermelho-Amarelo Equivalente Eutrófico, Neossolos Quartzarênicos	Serra do Ramalho
GO	Cerrado	Cambissolo Álico	Mambaí
		Latossolo Vermelho-Amarelo, Cambissolo Álico	São Domingos
		Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho-Escuro Eutrófico	Sítio d'Abadia
		Neossolos Litólicos (Solos Litólicos Eutróficos)	Campos Belos, Guarani de Goiás
		Neossolos Litólicos (Solos Litólicos Eutróficos, Solos Litólicos Álicos)	Posse
		Neossolos Litólicos (Solos Litólicos) Eutróficos	Buritinópolis
	Floresta Estacional Semidecidual	Neossolos Quartzarênicos, Argissolo Vermelho-Amarelo	Damianópolis
MA	Cerrado/Caatinga	Latossolo Amarelo, Neossolos Quartzarênicos	Alto Parnaíba
MG	Cerrado	Latossolo Vermelho-Amarelo	Arinos/ Biquinhas/ Bonito de Minas/ Brasilândia de Minas/ Brasília de Minas/ Carmo do Parnaíba/ Cedro do Abaeté/ João Pinheiro/ Matutina/ Mirabela/ Miravânia/ Patis/ Tiros/ Ointópolis/ Pirapora/ Presidente Oligário/ Santa Fé do Abaeté/ São Gotardo/ São João da Lagoa/ São João das Missões/ São José do Pacuí/ São Romão/ Tiros/ Varjão de Minas/ Luislândia
		Latossolo Vermelho-Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico	Coração de Jesus

Continua...

QUADRO 3.2 - TIPOS DE SOLO NA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO SAU E SAA E COBERTURA VEGETAL ASSOCIADA

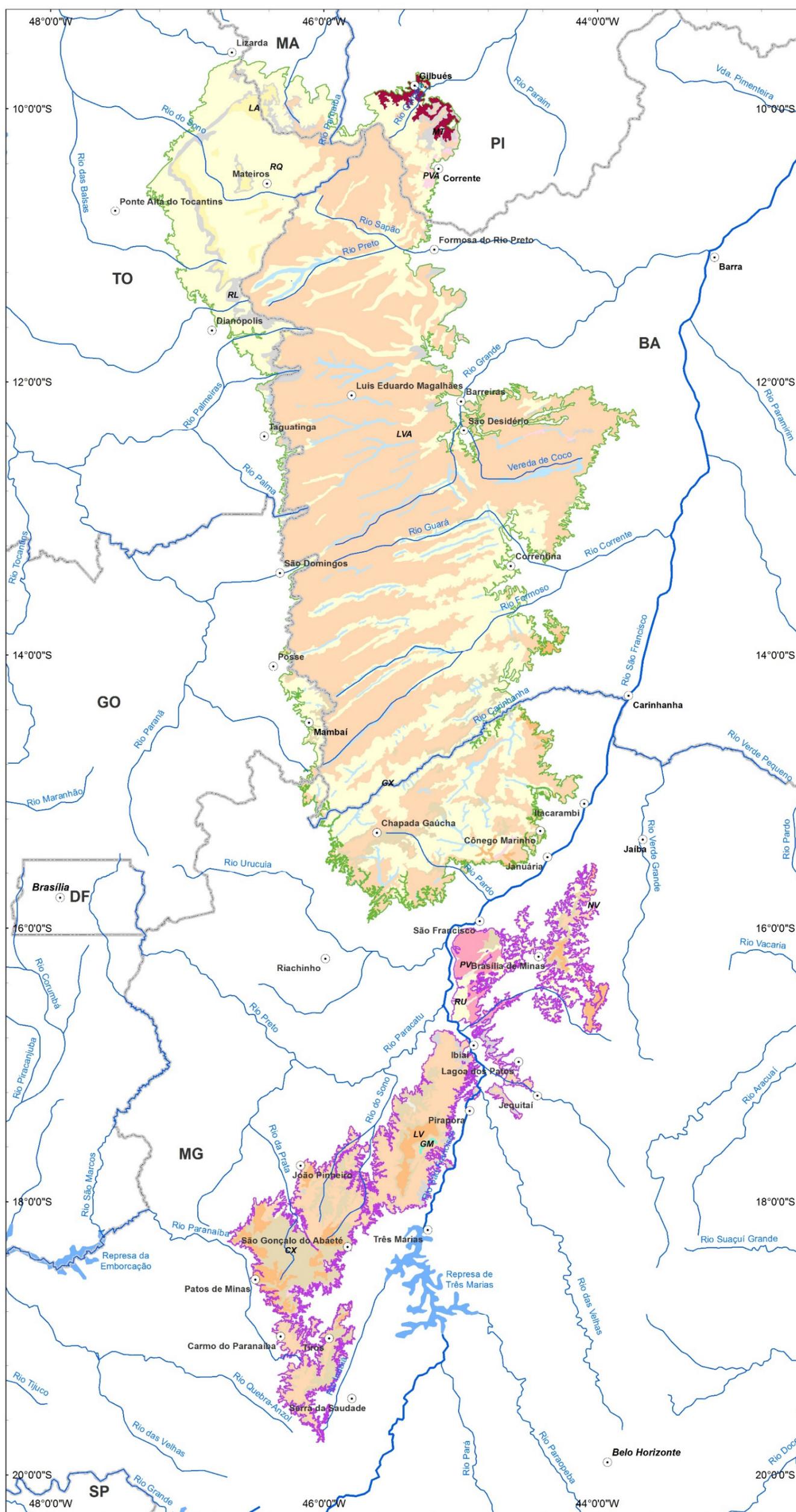
<i>Estado</i>	<i>Cobertura Vegetal</i>	<i>Solo</i>	<i>Município de ocorrência</i>
MG	Cerrado	Latossolo Vermelho-Amarelo, Cambissolo Háptico	Formoso
		Latossolo Vermelho-Amarelo, Gleissolo Melânico	Urucuia
		Latossolo Vermelho-Amarelo, Neossolo Flúvico, Gleissolo Melânico	Chapada Gaúcha
		Latossolo Vermelho Distrófico	Várzea de Palma
		Latossolo Vermelho-Escuro	Manga
		Latossolo Vermelho-Escuro, Latossolo Vermelho-Amarelo	Buritizeiro
		Neossolos Litólicos (Solos Litólicos Eutróficos)	Ibiracatu/ Lagoa Formosa/ Lassance/ Japonvar
		Cambissolo Háptico (Distrófico e Eutrófico), Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Neossolo Litólico Eutrófico e Neossolo Quartzarênico Distrófico	Lontra
	Cerrado/Caatinga	Latossolo Vermelho-Amarelo, Solos Litólicos	Pedra da Maria da Cruz
	Cerrado/Floresta Estacional Semidecidual	Latossolo Vermelho-Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo	Varzelândia
	Floresta Estacional Decidual	Latossolo Vermelho Eutrófico, Latossolo Vermelho-Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo	Cônego Marinho/ Itacarambi/ Montalvânia
Latossolo Vermelho-Amarelo, Neossolos Quartzarênicos		Januária	
Floresta Estacional Semidecidual	Latossolo Vermelho Eutrófico, Latossolo Vermelho-Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo	São João da Ponte	
PI	Cerrado/Caatinga	Latossolo Amarelo, Neossolos Quartzarênicos (Areias Quartzosas)	Barreiras do Piauí
		Latossolo Amarelo, Neossolos Quartzarênicos, Neossolos Litólicos (Solos Litólicos)	Monte Alegre do Piauí/ São Gonçalo da Gurguéia
		Latossolo Vermelho-Amarelo, Neossolos Quartzarênicos, Neossolos Litólicos (Solos Litólicos)	Gilbués
		Neossolos Litólicos (Solos Litólicos) Argissolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Amarelo	Cristalândia do Piauí
	Floresta Estacional Decidual	Argissolo Vermelho-Amarelo	Corrente

Continua...

QUADRO 3.2 - TIPOS DE SOLO NA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO SAU E SAA E COBERTURA VEGETAL ASSOCIADA

<i>Estado</i>	<i>Cobertura Vegetal</i>	<i>Solo</i>	<i>Município de ocorrência</i>
TO	Cerrado	Cambissolo Eutrófico	Almas/ Aurora do Tocantins/ Lavandeira
		Latossolo Vermelho-Amarelo	Lizarda/ Ponte Alta do Bom Jesus/ Ponte Alta do Tocantins/ Porto Alegre do Tocantins/ São Félix do Tocantins
		Neossolos Litólicos (Solos Litólicos Eutróficos)	Novo Acordo/ Novo Jardim/ Rio da Conceição/ Mateiros
	Cerrado/Floresta Estacional Semidecidual	Cambissolo Eutrófico, Neossolos Litólicos (Solos Litólicos)	Taguatinga

A Figura 3.35, apresentada a seguir, ilustra a distribuição espacial dos tipos de solos identificados na região de estudo.



Mapa de localização da área de estudo

Convenções Cartográficas

- Sede Municipal
- ~ Hidrografia
- Massas d'água
- Limite Estadual

Legenda

- ~ Rio São Francisco
- SAU
- SAA

Soils

- CXd, CXe: Cambissolo Háplico (distrófico, eutrófico)
- GMd: Gleissolo Melânico (distrófico)
- GXd: Gleissolo Háplico (distrófico)
- LAd: Latossolo Amarelo (distrófico)
- LVd, LVe, LVdf: Latossolo Vermelho (distrófico, eutrófico, distrófico)
- LVA, LVAe: Latossolo Vermelho-Amarelo (distrófico, eutrófico)
- MTe: Chernossolo Argilúvico (eutrófico)
- NVe: Nitossolo Vermelho (eutrófico)
- PVd, PVe: Argissolo Vermelho (distrófico, eutrófico)
- PVAd, PVAe: Argissolo Vermelho-Amarelo (distrófico, eutrófico)
- RLd, RLe: Neossolo Litólico (distrófico, eutrófico)
- RQd, RQg, RQo: Neossolo Quartzarênico (distrófico, hidromórfico, órtico)
- RUE: Neossolo Flúvico (eutrófico)

PROJEÇÃO GEOGRÁFICA

Datum Horizontal: SAD/69
 Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano 45° WGr
 Acrescidas as constantes: 10.000 km e 500 km, respectivamente

ANA
 ENGE CORPS
 WALM

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

TÍTULO
Mapa pedológico das sub-bacias Urucuia e Abaeté

ESCALA NUMÉRICA: 1:3.000.000
 NÚMERO FIGURA: 3.35

ESCALA GRÁFICA: 0 10 20 40 60 80 Km

Figura 3.35 - Mapa pedológico das sub-bacias Urucuia e Abaeté.

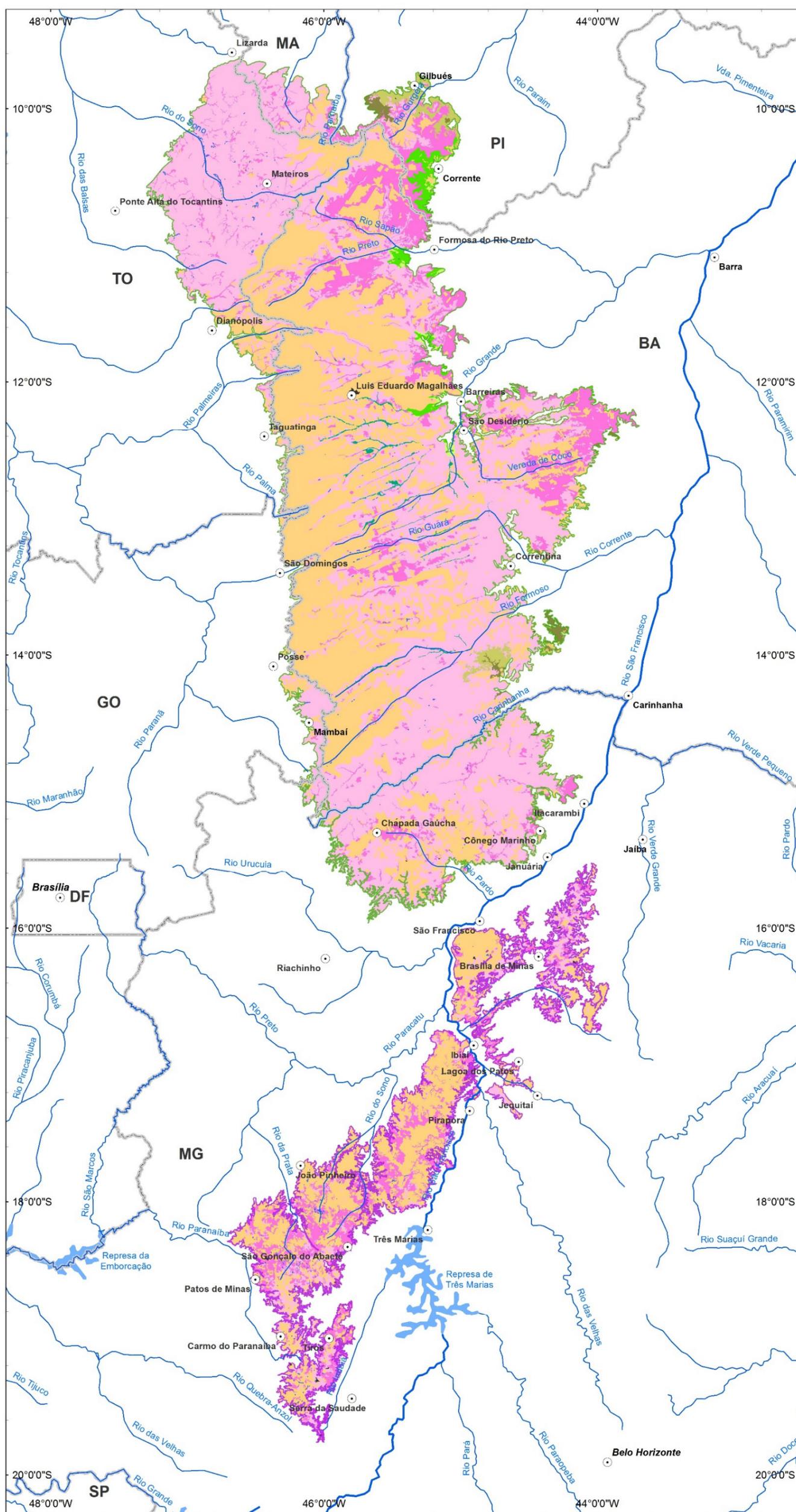
3.5 USOS DA TERRA E COBERTURA VEGETAL

A partir da metodologia adotada para o mapeamento dos usos da terra e cobertura vegetal da região de estudo, descrita no item 2.5 deste relatório, as classes de usos da terra que puderam ser distinguidas foram (Quadro 3.3):

QUADRO 3.3 - DEFINIÇÃO DAS CLASSES DE USO UTILIZADAS NA REGIÃO DE OCORRÊNCIA DOS SISTEMAS AQUÍFEROS URUCUIA E AREADO.

<i>Uso/Vegetação</i>	<i>Descrição</i>
Natural	
Áreas Úmidas ou Alagáveis	Áreas em que a umidade é bastante elevada ou que são habitualmente alagadas, normalmente próximas a drenagens.
Caatinga - Formação arbustiva	Bioma Caatinga com prevalência da Formação Arbustiva
Caatinga - Formação florestal	Bioma Caatinga com prevalência da Formação florestal
Campos de Altitude	Áreas com altitude mais elevada, onde a vegetação costuma ser rasteira.
Cerrado - Formação florestal	Bioma Cerrado com prevalência da Formação florestal
Cerrado - Formação herbáceo-arbustiva	Bioma Cerrado com prevalência da Formação herbáceo-arbustiva
Corpo d'Água	Lagos, Lagoas, Reservatórios e rios (com margens distinguíveis na escala).
Ecótono (Caatinga / Cerrado) - Formação florestal	Áreas de contato entre os biomas de caatinga e cerrado, com prevalência da formação florestal.
Ecótono (Caatinga / Cerrado) - Formação herbáceo-arbustiva	Áreas de contato entre os biomas de caatinga e cerrado, com prevalência da formação herbáceo-arbustiva.
Vegetação associada a cursos d'água	Vegetação próxima a cursos de água e área úmidas podem conter matas ciliares, matas de galeria entre outros.
Antrópica	
Extração Mineral	Áreas de extração de mineração, quando visível na escala.
Urbano	Áreas de ocupação urbana ou em expansão urbana, incluindo as sedes municipais e distritos.
Usos Agropecuários	Áreas onde prevalece o uso agrícola ou pastoril (agricultura, pastos, terras nuas ou preparadas para plantio, silvicultura).

O mapa da Figura 3.36 mostra a distribuição espacial dessas classes na área de estudo.



Mapa de localização da área de estudo

Convenções Cartográficas

- Sede Municipal
- ~ Hidrografia
- Massas d'água
- Limite Estadual

Legenda

- Rio São Francisco
- SAU
- SAA

Uso e Ocupação da Terra

- Massas d'Água
- Áreas Úmidas ou Alagáveis

ANTRÓPICO

- Usos Agropecuários
- Urbano

VEGETAÇÃO

- Vegetação associada à cursos d'água
- Caatinga - Formação arbustiva
- Caatinga - Formação florestal
- Cerrado - Formação herbáceo-arbustiva
- Cerrado - Formação florestal
- Ecótono (Caatinga / Cerrado) - Formação herbáceo-arbustiva
- Ecótono (Caatinga / Cerrado) - Formação florestal

PROJEÇÃO GEOGRÁFICA

Datum Horizontal: SAD/69
 Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano 45° WGr
 Acrescidas as constantes: 10.000 km e 500 km, respectivamente

ANA
 ENGE CORPS
 WALM

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

TÍTULO
 Uso da terra e cobertura vegetal nas sub-bacias Urucuia e Abaeté

ESCALA NUMÉRICA
 1:3.000.000

ESCALA GRÁFICA
 0 10 20 40 60 80 Km

Figura 3.36 - Uso da terra e cobertura vegetal nas sub-bacias Urucuia e Abaeté.

O Quadro 3.4 e a Figura 3.37 apresentam a quantificação das classes de uso das terras e cobertura vegetal na área de abrangência dos aquíferos Urucuia e Areado.

QUADRO 3.4 - USOS DA TERRA NA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO SAU E SAA

<i>Descrição do Uso / Vegetação</i>	<i>Área (ha)</i>	<i>%</i>
Caatinga - Formação arbustiva (Caatinga – FA)	145.421	1,0%
Caatinga - Formação florestal (Caatinga – FF)	105.027	0,7%
Cerrado - Formação florestal (Cerrado – FF)	1.832.747	12,6%
Cerrado - Formação herbáceo-arbustiva (Cerrado – FHA)	6.765.926	46,4%
Corpo d'Água	9.673	0,1%
Ecótono (Caatinga / Cerrado) - Formação florestal (Ecótono - FF)	120.059	0,8%
Ecótono (Caatinga / Cerrado) - Formação herbáceo-arbustiva (Ecótono – FHA)	25.498	0,2%
Vegetação associada a cursos d'água (Vegetação ACA)	55.015	0,4%
Urbano	7.909	0,1%
Usos Agropecuários	5.504.786	37,8%
Total geral	14.572.061	100,0%

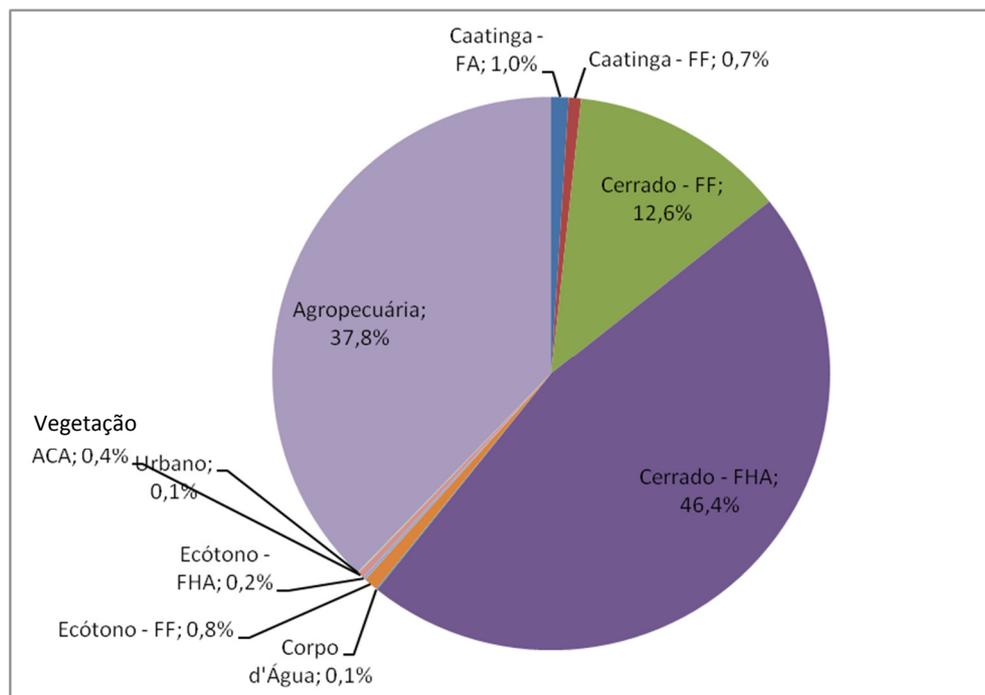


Figura 3.37 - Usos da terra na área de abrangência do SAU e SAA.

Conforme pode ser observado no Quadro 3.4 e na Figura 3.37, o elevado percentual do uso agropecuário (37,8%) reflete a extensa e progressiva ocupação antrópica das áreas rurais de exposição dos aquíferos. Por outro lado, as áreas urbanizadas ocupam somente 0,1% das áreas de exposição dos aquíferos.

Com relação às áreas de vegetação naturais, as formações florestais de caatinga e de cerrado ocupam, respectivamente, 0,7% e 12,6%, enquanto as formações herbáceo/arbustiva desses biomas ocupam, respectivamente, 1% e 46,4% das áreas de exposição dos aquíferos.

De forma geral, observa-se que parcela significativa da área de abrangência dos aquíferos está classificada como Natural (62%), enquanto a antrópica corresponde a 38% (Figura 3.38).

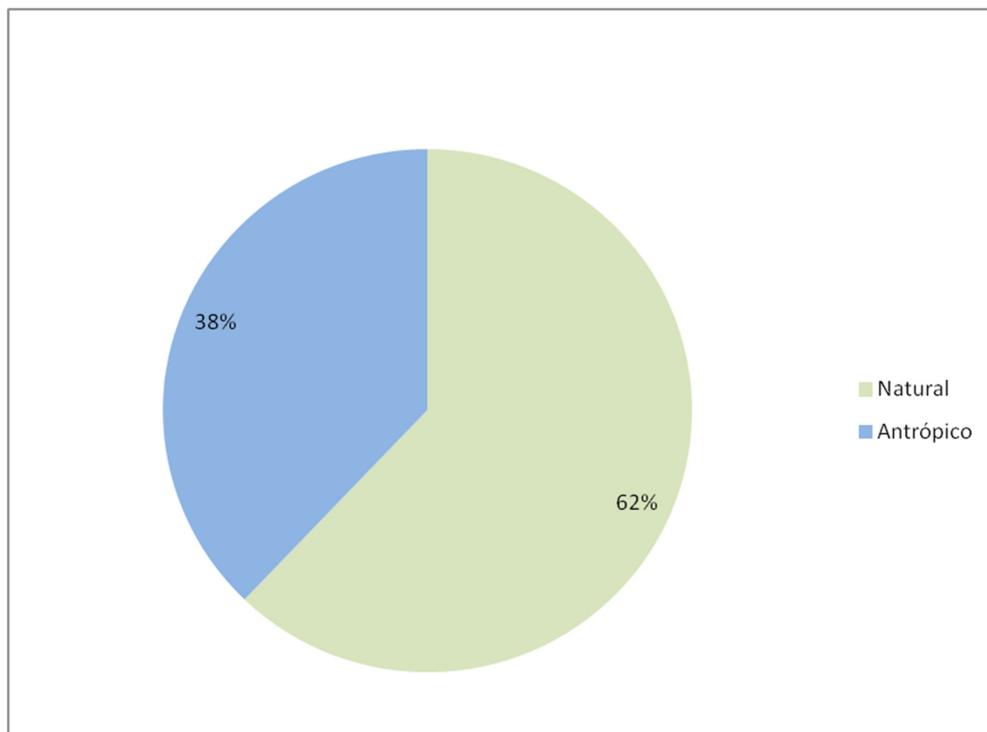


Figura 3.38 - Superfície Natural versus Uso Antrópico na área de abrangência do SAU e SAA.

Com relação aos usos da terra no nível estadual, o Quadro 3.5 e as Figuras 3.39 e 3.40 sintetizam a distribuição dos usos antrópicos e naturais na área de abrangência dos aquíferos.

QUADRO 3.5 - USOS DA TERRA NA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO SAU E SAA POR ESTADO

<i>Descrição do Uso</i>	<i>Área nos aquíferos (ha)</i>	<i>% da UF nos aquíferos</i>	<i>% dos aquíferos na UF por classe de uso</i>
BA	8.393.621	58%	100,00%
Caatinga - Formação arbustiva	52.654		0,63%
Caatinga - Formação florestal	79.302		0,94%
Cerrado - Formação florestal	982.849		11,71%
Cerrado - Formação herbáceoarbustiva	3.344.629		39,85%
Corpo d'Água	3.710		0,04%
Ecótono (Caatinga / Cerrado) - Formação florestal	55.807		0,66%
Ecótono (Caatinga / Cerrado) - Formação herbáceoarbustiva	22.306		0,27%
Urbano	3.914		0,05%
Usos Agropecuários	3.793.434		45,19%
Vegetação associada aos cursos d'água	55.015		0,66%
GO	184.198	1%	100,00%
Cerrado - Formação florestal	4.051		2,20%
Cerrado - Formação herbáceoarbustiva	116.058		63,01%
Corpo d'Água	263		0,14%
Urbano	36		0,02%
Usos Agropecuários	63.790		34,63%
MA	271.802	2%	100,00%
Cerrado - Formação florestal	30.181		11,10%
Cerrado - Formação herbáceoarbustiva	203.378		74,83%
Corpo d'Água	109		0,04%
Usos Agropecuários	38.134		14,03%
MG	3.369.606	23%	100,00%
Caatinga - Formação arbustiva	2.117		0,06%
Caatinga - Formação florestal	1.736		0,05%
Cerrado - Formação florestal	562.335		16,69%
Cerrado - Formação herbáceoarbustiva	1.541.796		45,76%
Corpo d'Água	2.333		0,07%
Urbano	3.403		0,10%
Usos Agropecuários	1.255.887		37,27%
PI	452.549	3%	100,00%
Caatinga - Formação arbustiva	90.651		20,03%
Caatinga - Formação florestal	23.989		5,30%
Cerrado - Formação florestal	152.084		33,61%
Cerrado - Formação herbáceoarbustiva	61.716		13,64%
Ecótono (Caatinga / Cerrado) - Formação florestal	64.251		14,20%
Ecótono (Caatinga / Cerrado) - Formação herbáceoarbustiva	3.192		0,71%
Urbano	349		0,08%
Usos Agropecuários	56.316		12,44%

Continua...

QUADRO 3.5 - USOS DA TERRA NA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO SAU E SAA POR ESTADO

Descrição do Uso	Área nos aquíferos (ha)	% da UF nos aquíferos	% dos aquíferos na UF por classe de uso
TO	1.900.285	13%	100,00%
Cerrado - Formação florestal	101.245		5,33%
Cerrado - Formação herbáceoarbustiva	1.498.349		78,85%
Corpo d'Água	3.259		0,17%
Urbano	208		0,01%
Usos Agropecuários	297.225		15,64%
Total geral	14.572.061	100%	-

As Figuras 3.39 e 3.40 mostram, respectivamente, os gráficos da distribuição percentual, por Estado, das áreas com vegetação natural e das áreas antropizadas, que cobrem os aquíferos. Dentre os Estados, a Bahia possui a maior proporção de áreas com vegetação natural preservada (51%); por outro lado, também possui a maior proporção de áreas antropizadas. O Estado de Minas Gerais comparece em seguida, com 23% de áreas com vegetação natural preservada e 23% de áreas antropizadas. Em contrapartida, o Estado de Goiás possui as menores proporções de áreas com vegetação natural preservada e de áreas antropizadas, da ordem de 1% em ambos os casos.

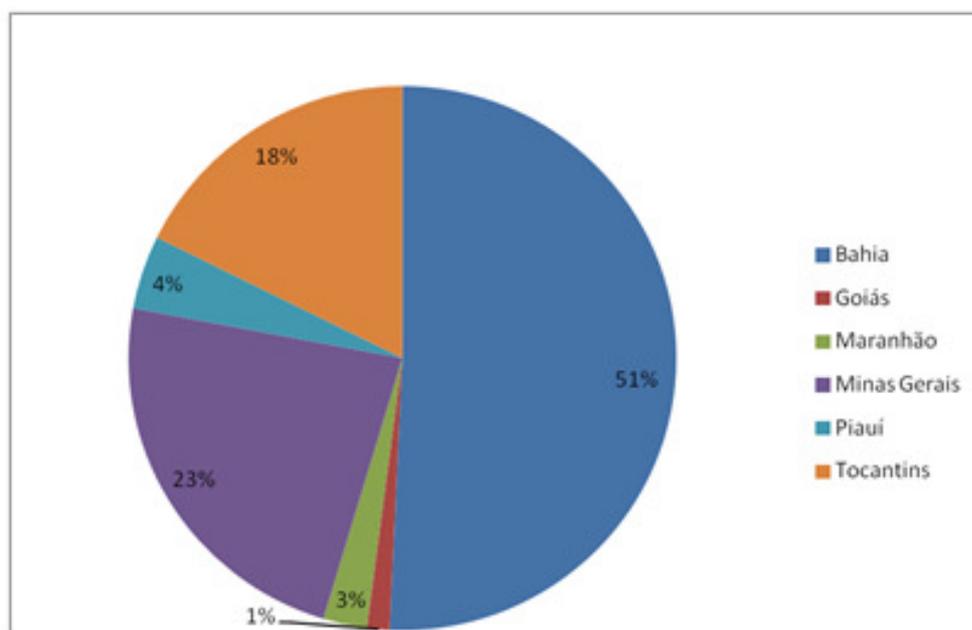


Figura 3.39 – Distribuição das áreas com vegetação natural que cobrem o SAU e SAA por estado.

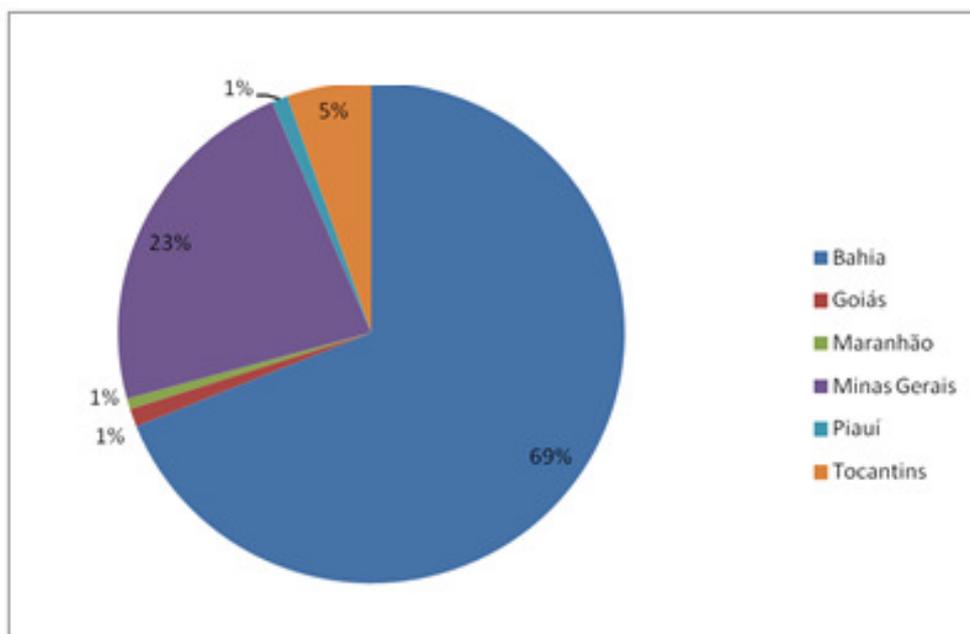


Figura 3.40 – Distribuição das áreas antropizadas do SAU e do SAA por estado.

3.6 ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO

Este item aborda os ensaios para determinação da condutividade hidráulica “*in situ*” que foram realizados com emprego dos métodos de Permeômetro Guelph e Infiltrômetro de anel duplo, em **solos saturados** dentro dos limites do SAU e do SAA.

Foi executado um total de 40 pontos, ensaiados com cada equipamento. Tais ensaios foram realizados em duas campanhas de campo: a primeira em meados abril/maio, e a segunda, no mês de julho de 2012. Os testes foram conduzidos em dois tipos de solo com usos distintos: o primeiro do tipo agrícola (modificado antropicamente) e o segundo constituído por cerrado nativo (vegetação natural).

As fotografias (a), (b), (c) e (d) das Figuras 3.41 e 3.42 ilustram a realização dos ensaios em diferentes locais.



Figura 3.41 – Ensaios de infiltração em terras agrícolas (a, b) e zonas de cerrado (c, d) com emprego de permeômetro Guelph.

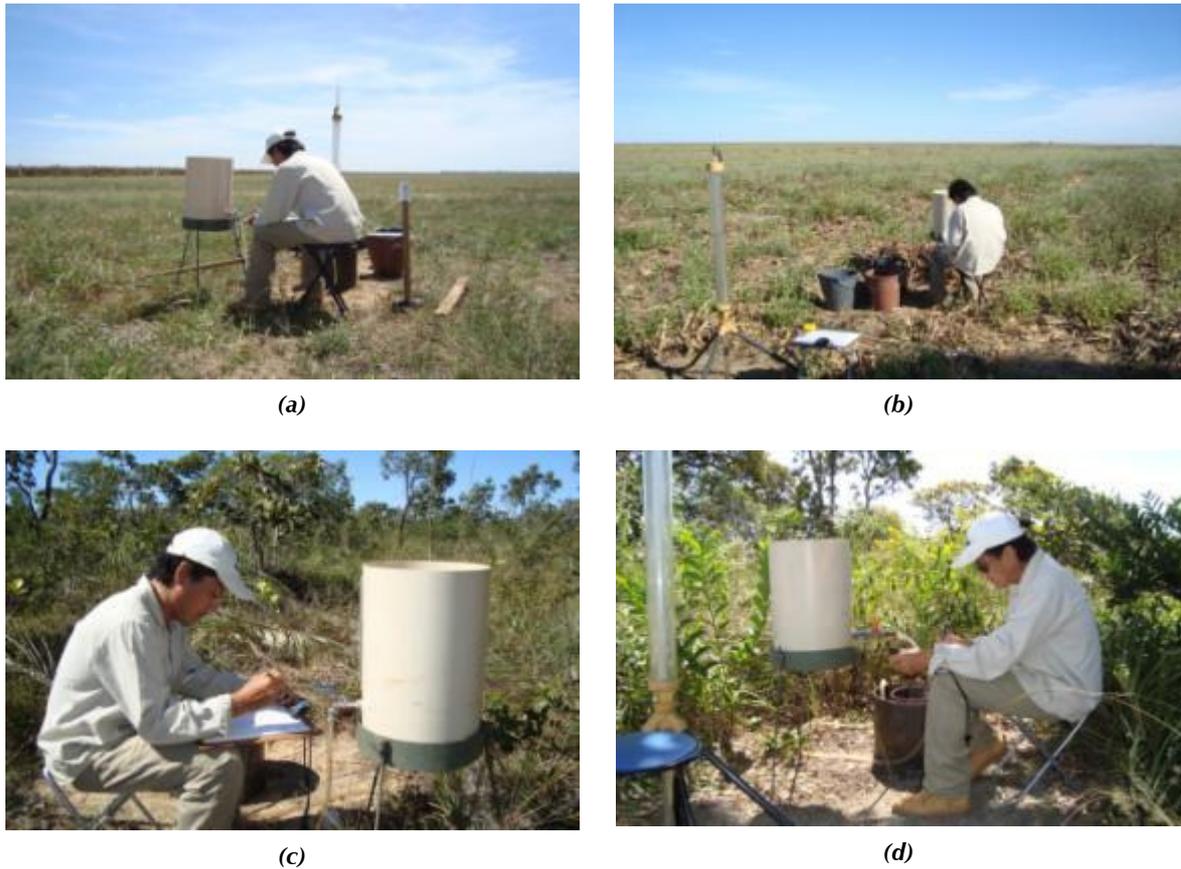


Figura 3.42 – Ensaios de infiltração em terras agrícolas (a, b) e zonas de cerrado (c, d) com emprego infiltrômetro de anel duplo.

3.6.1 Determinação da condutividade hidráulica do solo saturado com o permeâmetro Guelph

O permeâmetro Guelph foi desenvolvido por Reynolds & Elrick (1983) e aperfeiçoado posteriormente por Reynolds & Elrick (1985), na University of Guelph, Canadá. O fácil uso deste equipamento e o apurado método para determinar a condutividade hidráulica saturada (entre outros parâmetros) são apropriados para aplicações que envolvem projetos e estudos de sistemas de irrigação e drenagem, canais, diques de reservatórios, aterros sanitários, estudos de solos e hidrológicos em geral.

O equipamento consiste num permeâmetro de carga constante que trabalha sob o princípio do tubo de Mariotte (Figura 3.43). Utilizou-se métodos (procedimentos de ensaio e cálculos) de uma altura de carga constante (Elrick et al., 1989) e cargas múltiplas (Reynolds & Elrick, 1986).

Os resultados são interpretados de acordo com o modelo teórico desenvolvido por Reynolds & Elrick (1985), baseado na equação de Richards (1931) para fluxo permanente em furo cilíndrico. O fluxo permanente é aproximado por uma equação, onde a vazão (Q) é composta por duas parcelas, sendo que a primeira corresponde ao fluxo saturado e a segunda ao fluxo não saturado. Segundo Elrick et al. (1989), durante o ensaio, o bulbo maior úmido (mas não-saturado) migra externamente partindo do bulbo saturado, que é representado na equação

pelo segundo termo, onde o efeito da sucção é incorporado no potencial matricial de fluxo ϕG_m (Figura 3.44).

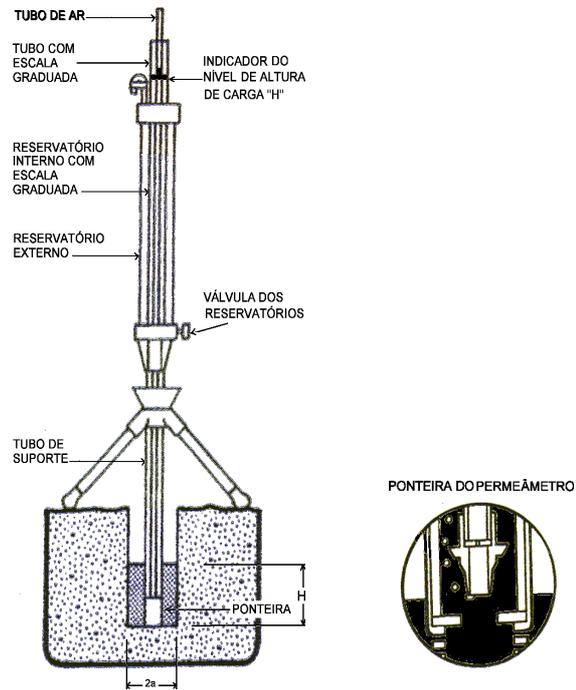


Figura 3.43 – Esquema do permeâmetro Guelph para obtenção da condutividade hidráulica do solo saturado (K_{fs}) e, adicionalmente, dos parâmetros (αG_m e β).

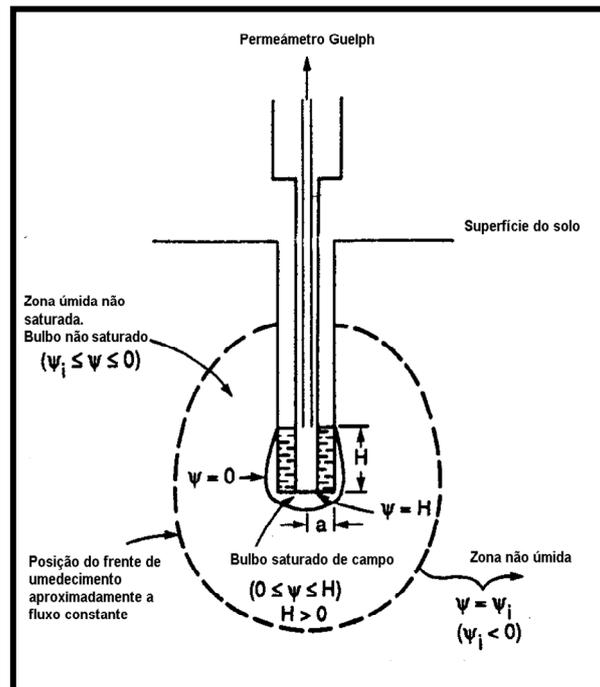


Figura 3.44 – Bulbo saturado e não-saturado ao redor do furo de sondagem durante o ensaio a carga constante.

A profundidade para cada ensaio foi variável (entre 0,27 e 0,50m), de maneira a evitar solos com elevada macroporosidade, principalmente em superfície, produzidos por notável presença de canalículos de formigueiros e outras atividades biológicas que possam interferir nos resultados.

Os ensaios foram conduzidos com uma a duas alturas de carga, dependendo de fatores como:

- Elevada permeabilidade do solo, cuja velocidade de infiltração restringe o emprego de estágios múltiplos, em função do limite de capacidade do reservatório do permeâmetro (3,2 litros);
- Elevada macroporosidade do solo devido a raízes, formigueiros, etc., que dificulta atingir o regime permanente, necessitando assim maior tempo de ensaio e maior quantidade de água, superando o limite de capacidade do reservatório do permeâmetro (3,2 litros).

Quando os fatores listados interferiram no andamento do ensaio optou-se por uma altura de carga, caso contrário, foram utilizadas duas alturas de carga para o andamento adequado do ensaio.

A avaliação visual no campo da macroporosidade do solo (formigueiros, fissuras, furos produzidos por raízes, etc.), para inferir o parâmetro α dentro dos valores sugeridos por Elrick et al.(1989), foi efetuada a partir dos valores apresentados no Quadro 3.6.

QUADRO 3.6 - VALORES α SUGERIDOS POR ELRICK ET AL.. (1989)

α (cm-1)	TIPO DE SOLO
0,01	Argilas compactas (aterros, liners, sedimentos lacustres e marinhos)
0,04	Solos de textura fina, principalmente sem macroporos e fissuras.
0,12	Argilas até areias finas com alta a moderada quantidade de macroporos e fissuras.
0,36	Areia grossa, incluindo solos com macroporos e fissuras.

A condutividade hidráulica saturada de campo (K_{fs}), o potencial matricial de fluxo (ΦG_m) e o parâmetro α foram calculados com auxílio das equações (1), (2) e (3), respectivamente.

$$K_{fs} = \frac{\sum_{i=1}^n H_i^2 \sum_{i=1}^n C_i Q_i \left(\frac{C_i a_i^2}{2} + H_i^2 \right) - \sum_{i=1}^n H_i C_i Q_i \sum_{i=1}^n H_i \left(\frac{C_i a_i^2}{2} + H_i^2 \right)}{2\pi \left\{ \sum_{i=1}^n H_i^2 \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i a_i^2}{2} + H_i^2 \right)^2 - \left[\sum_{i=1}^n H_i \left(\frac{C_i a_i^2}{2} + H_i^2 \right) \right]^2 \right\}} \quad (1)$$

$$\phi_{Gm} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i Q_i \left(\frac{C_i a_i^2}{2} + H_i^2 \right) \sum_{i=1}^n H_i \left(\frac{C_i a_i^2}{2} + H_i^2 \right) - \sum_{i=1}^n H_i C_i Q_i \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i a_i^2}{2} + H_i^2 \right)}{2\pi \left\{ \left[\sum_{i=1}^n H_i \left(\frac{C_i a_i^2}{2} + H_i^2 \right) \right]^2 - \sum_{i=1}^n H_i^2 \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i a_i^2}{2} + H_i^2 \right)^2 \right\}} \quad (2)$$

$$\alpha = Kfs / \phi Gm \quad (3)$$

3.6.2 Determinação da condutividade hidráulica do solo saturado com infiltrômetro de anel duplo

Os ensaios com o emprego do infiltrômetro de anel duplo foram locados a poucos metros dos testes realizados com o método do permeâmetro Guelph, com objetivo de comparar os resultados obtidos.

Os infiltrômetros possibilitam o fluxo de água através de volumes relativamente grandes de solo e o valor da condutividade medida inclui efeitos decorrentes da heterogeneidade do solo. O infiltrômetro consiste num anel metálico que pode ser simples ou duplo (concêntricos), embutido(s) na superfície do terreno e posteriormente preenchido(s) com água (Figura 3.45).

No ensaio de um anel, enquanto a infiltração não excede a profundidade do anel enterrado, pode-se dizer que o fluxo é unidimensional. Não obstante, quando a infiltração é mais profunda a água pode-se expandir lateralmente. Neste caso, a utilização do anel duplo é interessante, pois o anel exterior limita a expansão lateral de fluxo originado pelo anel interior. Durante o processo de infiltração, a condutividade hidráulica saturada pode ser obtida, tanto a carga constante como a carga variável.

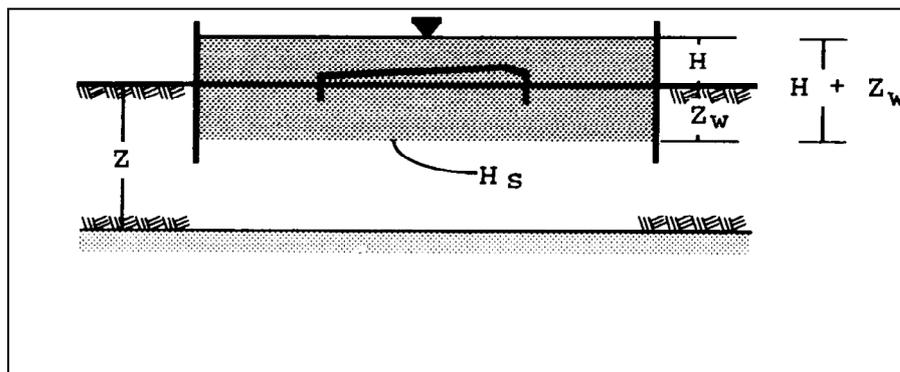


Figura 3.45 – Parâmetros de medição para determinação da condutividade hidráulica saturada em infiltrômetros.

Para realização dos ensaios utilizou-se o método (procedimentos de ensaio e cálculos) preconizado pela ASTM D3385 (2008). O método permite apenas ensaios em superfície, portanto foi necessária uma avaliação da superfície antes do ensaio para evitar solos com

elevada macroporosidade (presença de canalículos e atividade biológica), de tal forma que fornecessem resultados incoerentes ou não representativos do local. Em semelhança ao permeâmetro Guelph, o teste foi conduzido para regime permanente (ou carga constante).

A determinação da condutividade hidráulica saturada de campo (k_{fs}) foi calculada com a expressão (4) para valores de velocidade de fluxo constante (região assintótica). Por outro lado, a taxa de infiltração (TI) foi calculada com a expressão (5).

Para carga constante:

$$k_{fs} = \frac{Q}{\left(\frac{H+Z_w}{Z_w}\right).At} \quad (4)$$

$$TI = \frac{\Delta L}{\Delta t} \quad (5)$$

Onde ΔL [L] representa a infiltração acumulada ao longo do tempo (t).

3.6.3 Resultados Obtidos

Os resultados dos ensaios realizados com o *Permeâmetro Guelph* mostraram que **os solos dos cerrados são mais permeáveis** (média de $7,0 \times 10^{-3}$ cm/s) **quando comparados com os solos de terras agrícolas** (média de $1,6 \times 10^{-3}$ cm/s), sendo que os valores médios permitem estabelecer uma relação de 4:1.

Os resultados dos ensaios realizados com o *Infiltrômetro de Anel Duplo*, calculados com método para regime permanente, **também mostraram que os solos do cerrado** (média de $1,6 \times 10^{-2}$ cm/s) **são mais permeáveis quando comparados com os solos de terras agrícolas** (média de $3,4 \times 10^{-3}$ cm/s), sendo que os valores médios permitem estabelecer uma relação de 5:1.

Os resultados dos ensaios realizados permitiram as seguintes conclusões:

- ✓ As condutividades hidráulicas médias de terrenos agrícolas e de solos com vegetação de cerrado considerando os dois métodos utilizados no cálculo foram, respectivamente, $2,3 \times 10^{-3}$ cm/s e $1,1 \times 10^{-2}$ cm/s.
- ✓ Os resultados de condutividade hidráulica de testes realizados em cerrados foram maiores do que os de terrenos agrícolas. A análise comparativa das condutividades hidráulicas médias dos dois meios, independentemente do tipo de método de medição utilizado, são estatisticamente diferentes para nível de significância de 5%. Embora com características texturais semelhantes do ponto de vista geotécnico, estes solos com diferentes usos diferem entre si, provavelmente, em densidade e macroporosidade.

- ✓ A análise comparativa entre os resultados obtidos pelos métodos Guelph e Infiltrômetro, para estes tipos de solo, mostram os métodos não produzem resultados estatisticamente iguais, para o nível de significância de 5%. Em todos os ensaios, as condutividades hidráulicas obtidas dos ensaios com Infiltrômetro de Anel Duplo foram relativamente maiores do que as obtidas com permeâmetro Guelph. Admite-se, como hipótese inicial, que os testes com Anel duplo sofrem maior influência da macroporosidade do solo em vista de ensaiar área superficial maior que o permeâmetro de Guelph.

Os ensaios de infiltração caracterizam porções bastante reduzidas e superficiais do solo, e não consideram heterogeneidades ao longo do perfil vertical do terreno, bastante comuns em rochas sedimentares compostas por intercalações de sedimentos com permeabilidades variáveis. Segundo Custódio & Llamas (1996), a permeabilidade perpendicular à estratificação é dada pela equação abaixo:

$$Kv = L / \sum bi / ki$$

Onde: Kv é permeabilidade vertical; L é espessura total das camadas; bi e Ki são, respectivamente, a espessura e a permeabilidade individual de cada camada.

A equação demonstra que a ordem ou distribuição das camadas do terreno não importam no valor final da permeabilidade vertical, mas sim as características físicas individuais de cada camada. Por esse motivo, tanto os valores de infiltração como os de condutividade hidráulica vertical obtidos nos ensaios devem ser analisados com ressalvas, quando tomados como representativos de toda a zona não saturada do aquífero.

4. LEVANTAMENTO HIDROGEOLÓGICO

4.1 CADASTRAMENTO DE USUÁRIOS E PONTOS DE ÁGUA E TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

4.1.1 Cadastramento de Usuários e Pontos de Água

A etapa de cadastramento de usuários e pontos de água dividiu-se em atividades de escritório, (coleta de dados cadastrais preexistentes), e de campo (identificação e realização do cadastro de novos usuários e pontos de água na área de ocorrência do SAU e SAA).

As informações obtidas nas fontes consultadas totalizaram 4.830 poços, e estão resumidas no Quadro 4.1 a seguir.

QUADRO 4.1 - RESUMO DE INFORMAÇÕES DE POÇOS TUBULARES OBTIDOS NAS FONTES CONSULTADAS (DADOS BRUTOS)

Fonte		Tipo	Nº de poços	Nº de fichas técnicas de poços
Gestores estaduais	INEMA/BA	Planilha com dados da SRH de 2005	425	--
	IGAM/MG	Planilhas de Outorgas	1261	38
	SEMADES/TO	Cadastro em relatório SRHMA (2010)	23	01
	SEMARH/GO	Planilha	23	--
	SEMA/MA	Planilha	01	--
Concessionárias	CERB/BA	Planilha e fichas técnicas de poços tubulares	2015	203
	COPASA/MG	Fichas técnicas de poços tubulares	88	88
	SANEATINS/TO	Fichas técnicas de poços tubulares	28	25
	SANEAGO/GO	Fichas de poços tubulares	09	09
	CAEMA/MA	Planilha	02	--
CPRM	SIAGAS	Dados extraídos do SIAGAS	817	276
Trabalhos e Publicações	Gaspar (2006)	Planilhas	117	--
	SRH (2001)	Relatório de cadastro de poços tubulares	19	--
	SRH (2001b, 2002)	Relatório de perfuração de poços tubulares	02	02

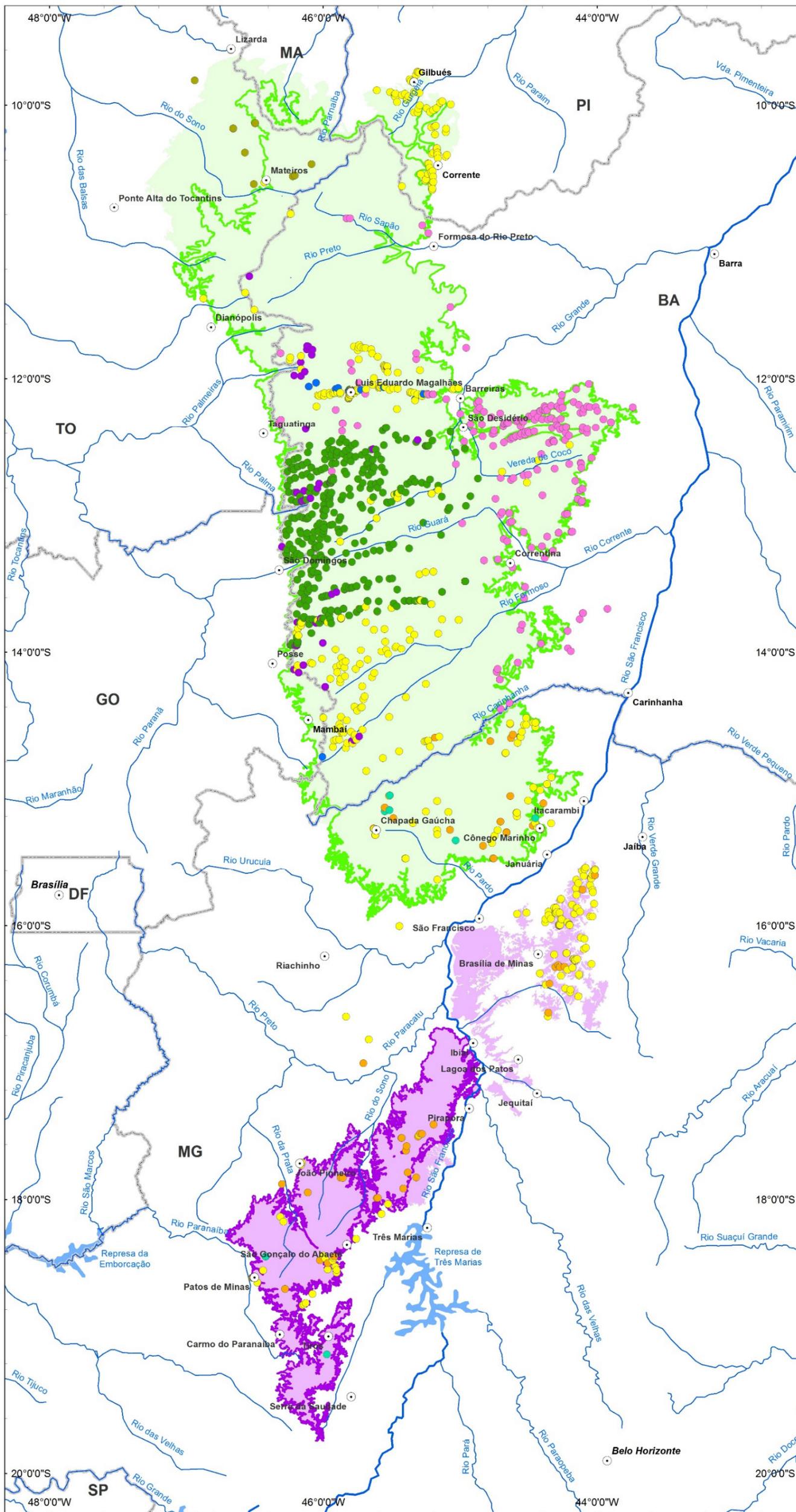
As informações obtidas nas fontes consultadas passaram pela fase de compilação, que consistiu de:

- Identificação de poços de interesse: seleção de poços localizados dentro dos limites dos afloramentos de rochas relacionadas ao SAU e SAA, com auxílio de ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG);
- Identificação de duplicidade: quando identificado o cadastramento em mais de uma fonte, as informações foram unificadas. A fonte de dados original foi considerada como a fonte mais confiável;

c) Separação de poços que exploram o SAU e o SAA: foram selecionados com base nas informações presentes nas planilhas de dados e nas fichas técnicas. Também foram identificados os poços que apresentam perfil com descrição de rochas correspondentes aos aquíferos, mas que pela posição dos filtros devem captar água também de rochas do embasamento.

Ao final da fase de compilação foram identificados 1.423 poços tubulares com indicativos de exploração do SAU e SAA. Deste total, 99 poços apresentam perfis com descrição de rochas relativas somente aos aquíferos, e 44 poços apresentam perfis com descrição de rochas do embasamento (Grupo Bambuí ou rochas cristalinas) subjacentes a sedimentos relativos ao SAU e SAA.

A Figura 4.1 apresenta a localização dos poços tubulares obtidos nos cadastros das diversas fontes consultadas, após a conclusão da etapa de compilação descrita anteriormente.



Mapa de localização da área de estudo

Convenções Cartográficas

- Sede Municipal
- ~ Hidrografia
- Massas d'água
- Limite Estadual

Legenda

- ~ Rio São Francisco
- SAU
- SAA
- Limites operacionais do SAU
- Limites operacionais do SAA

Poços Tubulares

- SIAGAS (CPRM) (n= 574)
- CERB (n= 196)
- SRH (2001) (n=19)
- SRH (2002) (n= 02)
- SRH (2005) (n= 425)
- Gaspar (2006) (n= 116)
- COPASA (n= 10)
- IGAM (n= 58)
- SRHMA (2010) (n= 23)



PROJEÇÃO GEOGRÁFICA

Datum Horizontal: SAD/69
 Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano 45° WGr
 Acrescidas as constantes: 10.000 km e 500 km, respectivamente

Estudos Hidrogeológicos e de Vulnerabilidade do Sistema Aquífero Urucua e Proposição de Modelo de Gestão Integrada e Compartilhada		
TÍTULO: Mapa de localização dos poços tubulares de cadastro das fontes consultadas após a compilação para SAU e SAA		
ESCALA NUMÉRICA	NÚMERO FIGURA	
1:3.000.000	4.1	
ESCALA GRÁFICA		
0 10 20 40 60 80 Km		

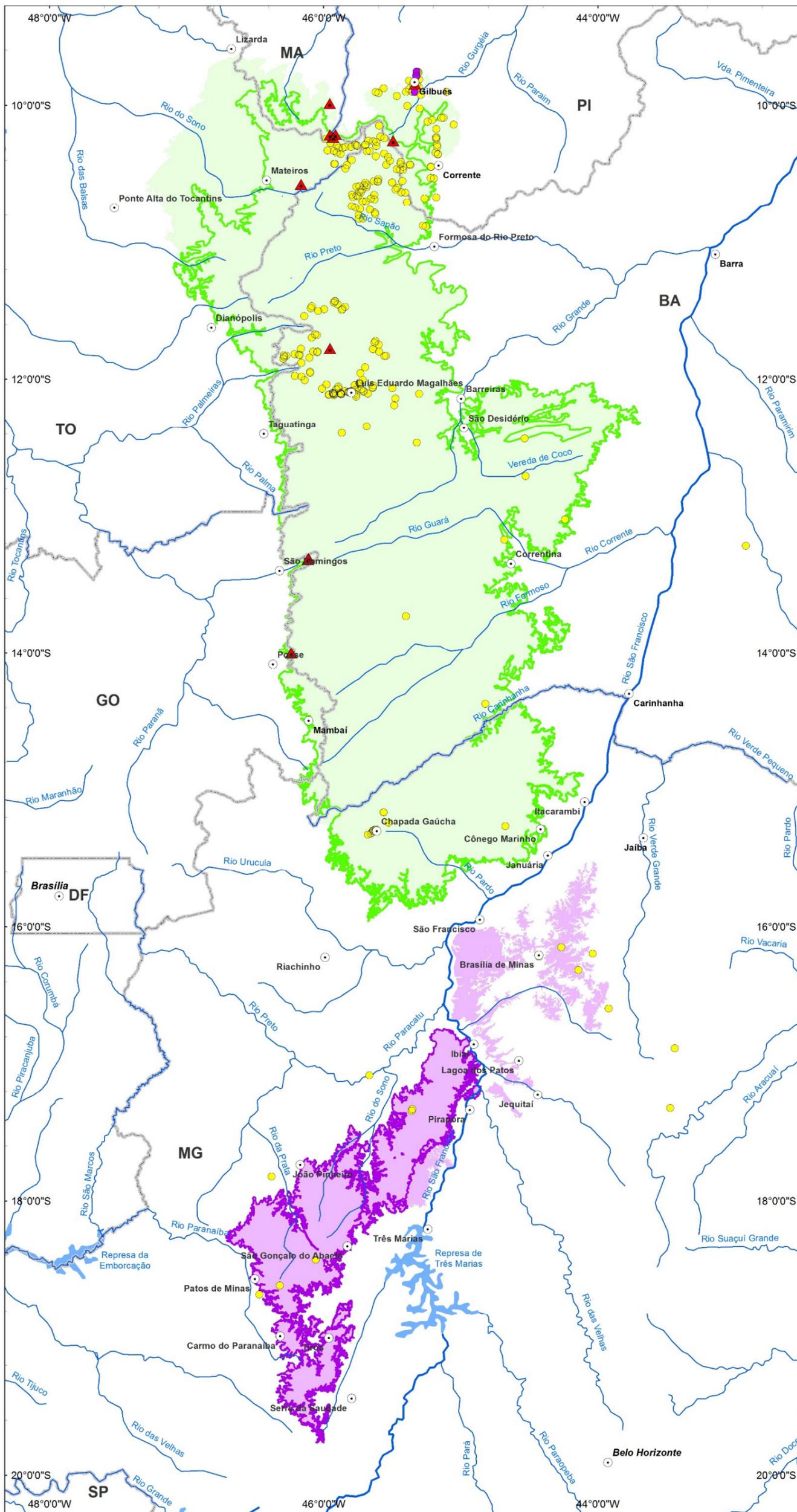
Figura 4.1 - Mapa de localização dos poços tubulares de cadastro das fontes consultadas após a compilação, para o SAU e SAA.

A fase de cadastramento de novos usuários e pontos de água em campo consistiu das seguintes etapas:

- a) Elaboração de ficha cadastral padrão – contendo as informações descritas no Termo de Referência;
- b) Treinamento interno – para padronização da coleta de dados foi elaborado um treinamento interno para os profissionais envolvidos no levantamento de campo. Foram treinadas 03 equipes para atuarem em regiões distintas de ocorrência dos sistemas aquíferos:
 - ✧ Porção sul: no Estado de Minas Gerais, regiões de afloramentos de rochas associadas aos sistemas aquíferos presentes entre os municípios de Buritizeiro, Mirabela e Chapada Gaúcha;
 - ✧ Porção central: municípios de Barreiras e Luis Eduardo Magalhães no Oeste Baiano e região localizada no limite estadual entre Bahia e Goiás.
 - ✧ Porção norte: municípios com ocorrência dos sistemas aquíferos localizados no sudeste de Tocantins (Lizarda), sul do Maranhão (Alto Parnaíba), sul do Piauí (Gilbués, Barreiras do Piauí e Corrente) e noroeste da Bahia (Formosa do Rio Preto).
- c) Logística de campo – para buscar informações mais completas e diminuir as chances de realizar o levantamento em propriedades com poços já existentes em outras fontes cadastrais, definiu-se uma série de medidas descritas a seguir:
 - ✧ Previamente ao levantamento de campo, buscar por informações de empresas perfuradoras locais, na tentativa de obter fichas técnicas dos poços tubulares;
 - ✧ Procurar por agentes locais e/ou funcionários das prefeituras que possam servir como guias na região e assim proporcionar facilidade de acesso às propriedades de interesse;
 - ✧ Identificar regiões com baixa densidade de poços cadastrados, com auxílio do programa Google Earth (mapas). A navegação na área foi feita com auxílio de um sistema composto por GPS, notebook, inversor automotivo 12DC/110AC e o programa GPS Trackmaker (<http://www.gpstm.com/index.php?lang=port>).

Os resultados do levantamento de campo totalizaram um cadastro de 272 pontos de água sendo 255 poços tubulares, 5 cacimbas e 12 nascentes. Após análise dos dados de campo verifica-se que do total de 255 poços tubulares, 81 poços apresentam indicações de exploração nos sistemas aquíferos.

A Figura 4.2 apresenta a localização dos poços tubulares, cacimbas e nascentes cadastrados em campo. A Figura 4.3 apresenta a localização dos pontos tanto da Figura 4.1 como da 4.2.



Mapa de localização da área de estudo

Convenções Cartográficas

- Sede Municipal
- Hidrografia
- Massas d'água
- Limite Estadual

Legenda

- Rio São Francisco
- SAU
- SAA
- Limites operacionais do SAU
- Limites operacionais do SAA

Pontos de Água Cadastrados

- ▲ Nascentes (n= 12)
- Cacimbas (n= 5)
- Poços Tubulares (n= 255)

N
W E
S

PROJEÇÃO GEOGRÁFICA

Datum Horizontal: SAD/69
Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano 45° WGr
Acrescidas as constantes: 10.000 km e 500 km, respectivamente

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

TÍTULO
Mapa de localização dos poços tubulares, cacimbas e nascentes obtidos no cadastro de campo do SAU e SAA

ESCALA NUMÉRICA 1:3.000.000	NÚMERO FIGURA 4.2
ESCALA GRÁFICA	

0 10 20 40 60 80 Km

Figura 4.2 - Mapa de localização dos poços tubulares, cacimbas e nascentes obtidos no cadastro de campo do SAU e SAA

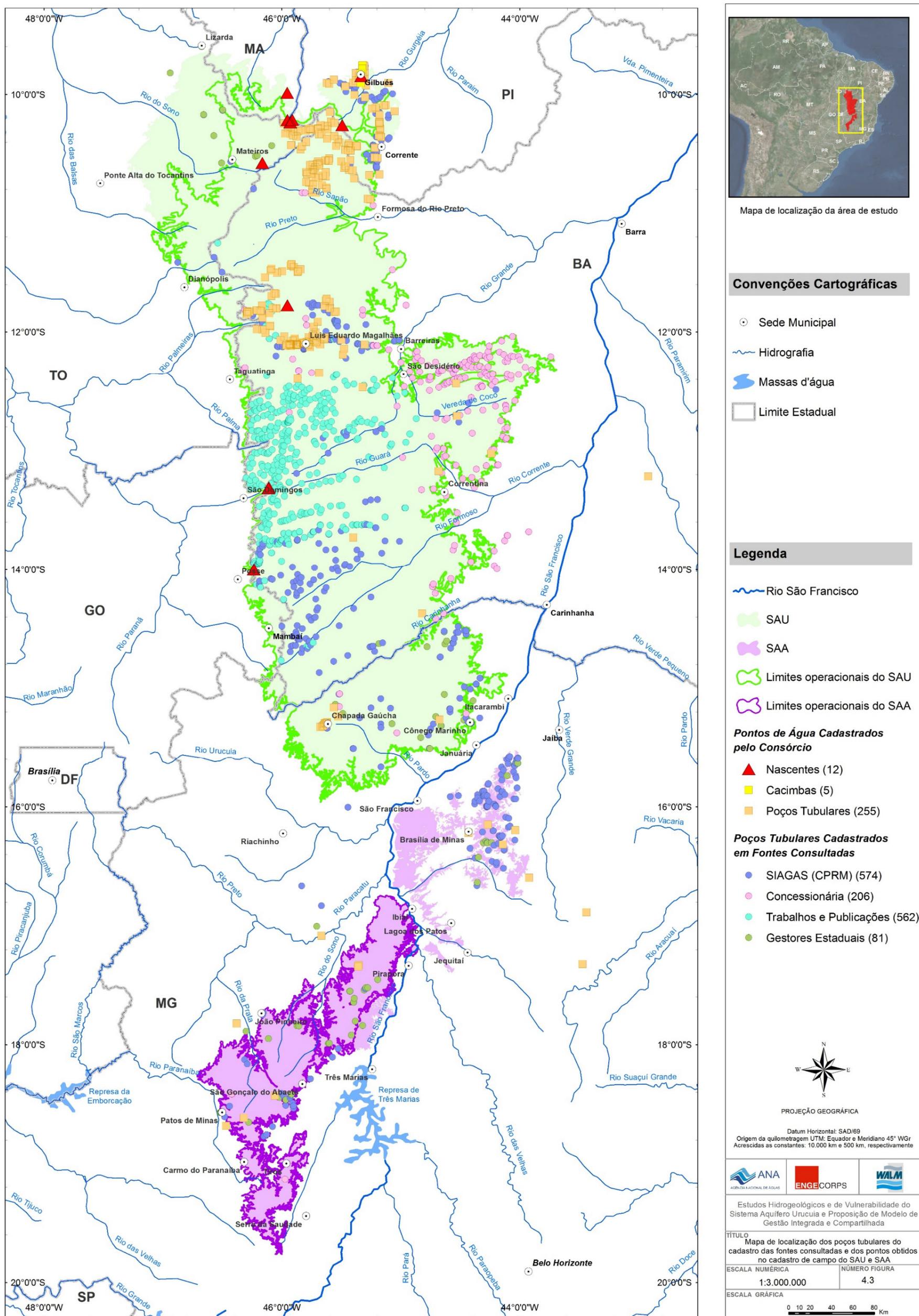


Figura 4.3 - Mapa de localização dos poços tubulares do cadastro das fontes consultadas e dos pontos obtidos no cadastro de campo do SAU e SAA.

4.1.2 Tratamento Estatístico dos Dados Cadastrais

O tratamento estatístico dos dados obtidos foi elaborado para três conjuntos distintos:

- Informações cadastrais preexistentes com a compilação de poços com indicações de exploração do SAU e do SAA - total de 1.454 poços tubulares (A);
- Informações cadastrais preexistentes com a compilação de poços tubulares com indicações de exploração do SAU e do SAA, confirmado em descrições de perfis - total de 95 poços (B);
- Informações cadastrais de novos poços com indicações de exploração do SAU e SAA - total de 81 poços (C);

O Quadro 4.2 apresenta a distribuição dos poços tubulares por Estado e Município, para os três conjuntos de dados descritos.

QUADRO 4.2 - DISTRIBUIÇÃO DOS POÇOS TUBULARES POR ESTADO E MUNICÍPIO

<i>Estado</i>	<i>Municípios</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
MG (262 poços)	Bonito de Minas	10		
	Brasilândia de Minas	1		
	Brasília de Minas	5	1	
	Buritizeiro	11		
	Chapada Gaúcha	19	7	2
	Cônego Marinho	18	3	
	Coração de Jesus	8		
	Ibiracatu	10		
	Itacarambi	2		
	Januária	17	2	
	Japonvar	15		
	João Pinheiro	9	1	
	Lagoa Formosa	3		
	Lontra	14		
	Mirabela	20		1
	Montalvânia	17	1	
	Patis	9		
	Patos de Minas	8	2	
	Presidente Olegário	7	4	
	Santa Fé de Minas	2		
São Francisco	4			
São Gonçalo do Abaeté	5			
MG (262 poços)	São João da Ponte	8		
	São João das Missões	3		
	Tiros	2	2	
	Urucuia	4	4	
	Varjão de Minas	13	1	
	Varzelândia	18		

Continua...

Conclusão.

QUADRO 4.2 - DISTRIBUIÇÃO DOS POÇOS TUBULARES POR ESTADO E MUNICÍPIO

<i>Estado</i>	<i>Municípios</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
BA <i>(1034 poços)</i>	Angical	4	2	
	Baianópolis	32	8	1
	Barreiras	66	21	
	Brejolândia	4	1	
	Canápolis	6		
	Carinhanha	1		
	Catolândia	13		
	Cocos	25		
	Coribe	7		
	Correntina	255	3	2
	Cotegipe	1		
	Cristópolis	28		
	Feira da Mata	1		
	Formosa do Rio Preto	6	3	1
	Jaborandi	83	1	
	Luiz Eduardo Magalhães	148	9	46
	Palmas de Monte Alto	1		
	Riachão das Neves	2		
	Santa Maria da Vitória	7		
	Santana	3		
	São Desidério	308	13	1
	São Feliz do Coribe	3		
	Serra Dourada	2		
Tabocas do Brejo Velho	24	3		
Wanderley	3			
TO <i>(34 poços)</i>	Dianópolis	1	1	
	Fátima	1		
	Mateiros	14	2	3
	Monte do Carmo	1		
	Rio da Conceição	1		
	São Felix do Tocantins	4	1	
	Lizarda	12		
PI <i>(103 poços)</i>	Barreiras do Piauí	13		
	Corrente	35		1
	Cristalândia do Piauí	4		
	Gilbués	37	3	2
	Monte Alegre do Piauí	3		
	São Gonçalo da Gurgueia	11		

Legenda: A - Poços em cadastros pré-existentes com indicação de exploração do SAU; B – poços em cadastros pré-existentes com indicação de exploração do SAU confirmado por descrição de perfis; C – Poços do novo cadastro com indicação de exploração do SAU

Os gráficos da Figura 4.4 mostram histogramas com a distribuição de frequências absolutas dos parâmetros profundidade, nível estático (NE) e vazão (Q) para os três conjuntos de dados (A, B e C) descritos anteriormente.

Com relação à profundidade, pode-se afirmar que os as mínimas são de 6 m, 24 m e 14 m para os conjuntos A, B e C, respectivamente. As profundidades máximas são de 380 m (A e B) e 315 m (C). Os conjuntos de dados A, B e C apresentam médias de 109 m, 130 m e 116 m, e medianas de 100 m, 107 m e 80 m, respectivamente.

Os níveis estáticos (NE) dos poços para os conjuntos de dados A, B e C têm valores mínimos inferiores a 2 m e valores máximos de 196 m (A), 268 m (B) e 165 m (C). As médias são de 22 m, 39 m e 33 m, e medianas de 13 m, 22 m e 21 m, respectivamente.

As vazões (Q) dos poços tubulares dos conjuntos de dados A, B e C têm valores mínimos inferiores a 2 m³/h e valores máximos de 630 m³/h para os conjuntos de dados A e B, e de 352 m³/h para o conjunto C. As médias são de 34 m³/h, 75 m³/h e 44 m³/h, e as medianas de 10 m³/h, 19 m³/h e 14 m³/h, respectivamente.

No que diz respeito ao tipo de uso da água subterrânea, predomina o consumo humano nos conjuntos de dados A e C. No conjunto de dados B dominam os usos de irrigação e consumo humano em conjunto com a dessedentação de animais. Os gráficos da Figura 4.5 apresentam as porcentagens do uso da água nos três conjuntos de dados considerados.

Quanto à situação de operação dos poços tubulares, faltam informações atualizadas na maior parte dos registros cadastrados. No conjunto A (total de 1433 poços), cerca de 130 poços foram desativados, obstruídos ou secos e 595 encontram-se em operação. Nos conjuntos de dados B (total de 99 poços), 12 poços estão desativados, obstruídos ou secos e 15 poços em operação. No conjunto de dados C (total 60 poços) estes números são respectivamente de 04 e 53 poços.

No que diz respeito a outorgas dos poços, pouca informação foi disponibilizada, tanto nos registros dos cadastros consultados quanto no levantamento de novos poços em campo. No conjunto de dados A apenas cerca de 90 poços têm confirmação de outorga.

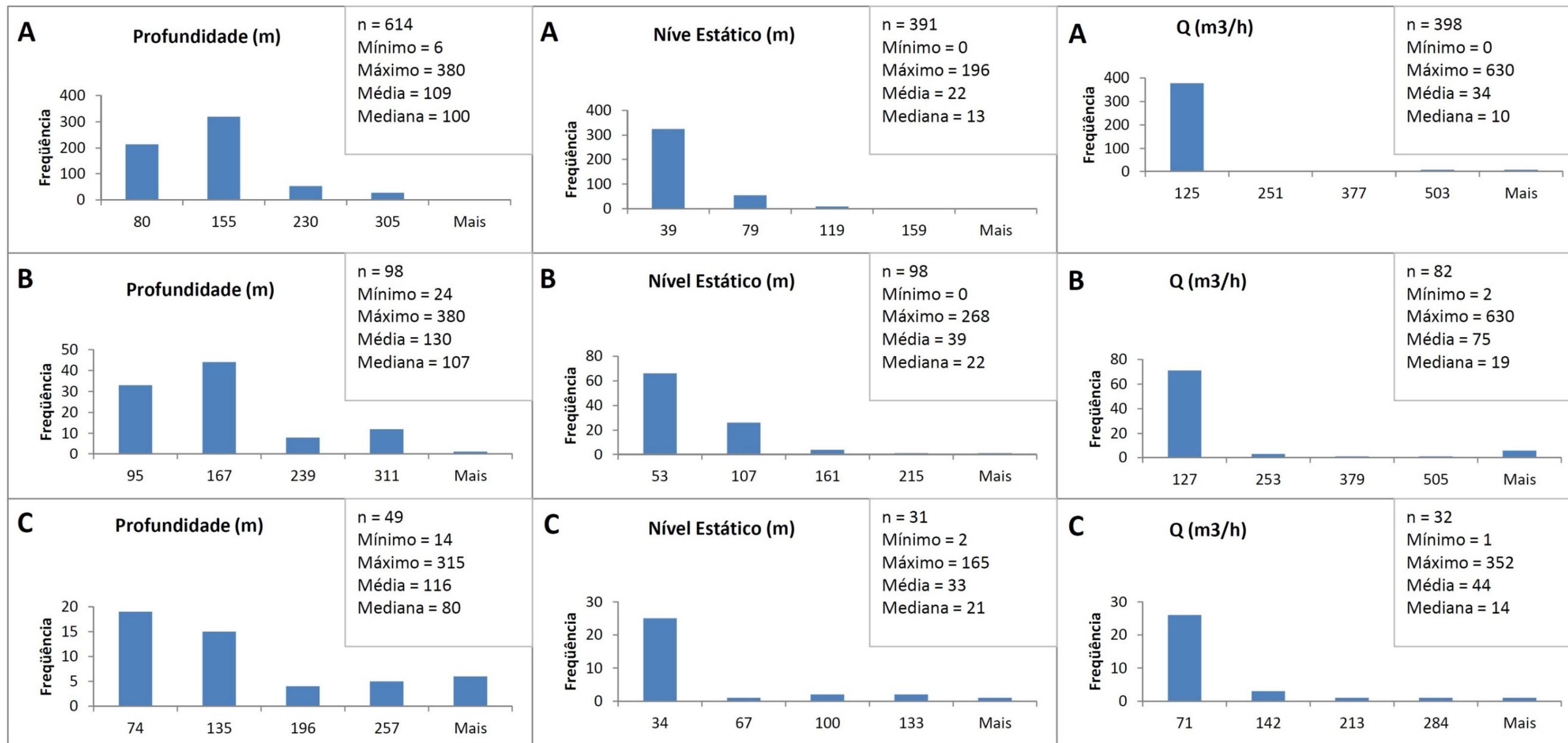
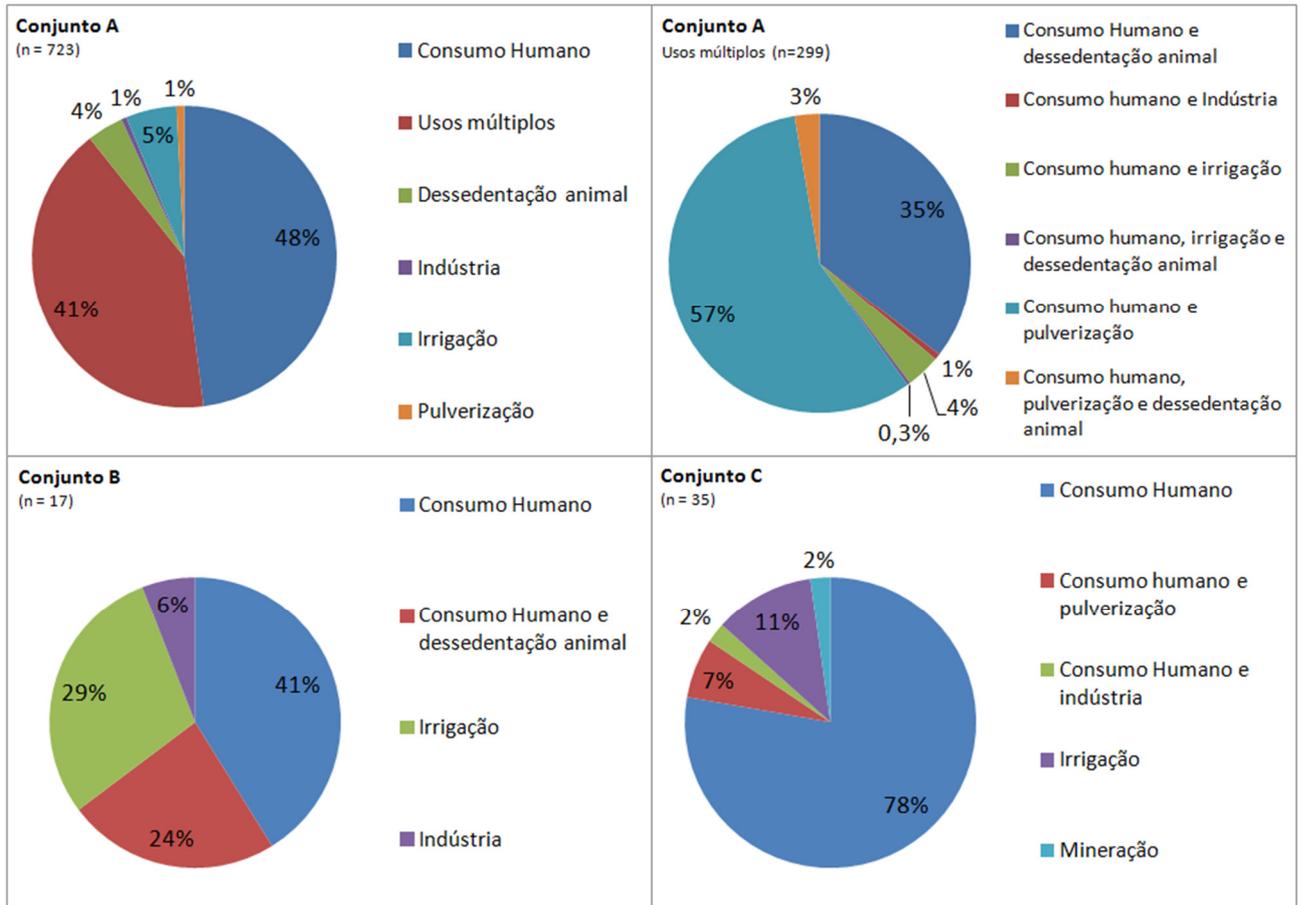


Figura 4.4 - Histogramas dos parâmetros profundidade, nível estático (NE) e vazão (Q).

A - Poços em cadastros pré-existentes com indicativo de exploração do SAU e do SAA;
 B - poços em cadastros pré-existente com indicação de exploração do SAU e do SAA confirmada por descrição de perfis;
 C - Poços do novo cadastro com indicativo de exploração do SAU e do SAA.



Legenda: A - Poços de cadastros de fontes diversas com indicativo de exploração do SAU e do SAA; B – poços em cadastros de fontes diversas com indicativo de exploração do SAU e do SAA confirmada por descrição de perfis; C – Poços do novo cadastro com indicativo de exploração do SAU e do SAA.

Figura 4.5 - Usos da água subterrânea na área de estudo.

4.2 CADASTRAMENTO DE FONTES POTENCIAIS DE CONTAMINAÇÃO

Para o levantamento de fontes potenciais de contaminação de água subterrânea foram identificados postos de abastecimento de combustíveis, indústrias e cemitérios localizados nos 114 municípios que estão na área de abrangência do SAU e do SAA.

Também foram consideradas fontes potenciais de caráter difuso, isto é, não pontual. No caso particular de águas subterrâneas, as fontes difusas normalmente estão associadas ao escoamento superficial de águas de chuva ocasionando o arraste e a dissolução de contaminantes que, por infiltração, podem atingir o lençol. O mesmo pode ocorrer pela simples incidência de chuvas em áreas com poluição atmosférica e a subsequente infiltração de parcela do escoamento superficial para o manancial subterrâneo.

Nas áreas urbanizadas, a carga difusa é mais intensa em áreas com manejo inadequado de resíduos e/ou com sistema de coleta de esgoto inexistente ou deficiente. No presente estudo foram considerados os dados disponíveis no Atlas de Saneamento 2011 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2011) e dados de pesquisa do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (2007 a 2009).

As áreas rurais por sua vez, também podem estar associadas a fontes difusas de contaminantes (defensivos agrícolas, fertilizantes, corretivos de solo, etc.) ocasionadas por escoamento de águas de chuva sobre as plantações e/ou por fluxo de retorno da irrigação. No levantamento cadastral de poços tubulares, foi verificada quantidade relevante do uso de água subterrânea para a pulverização de defensivos agrícolas.

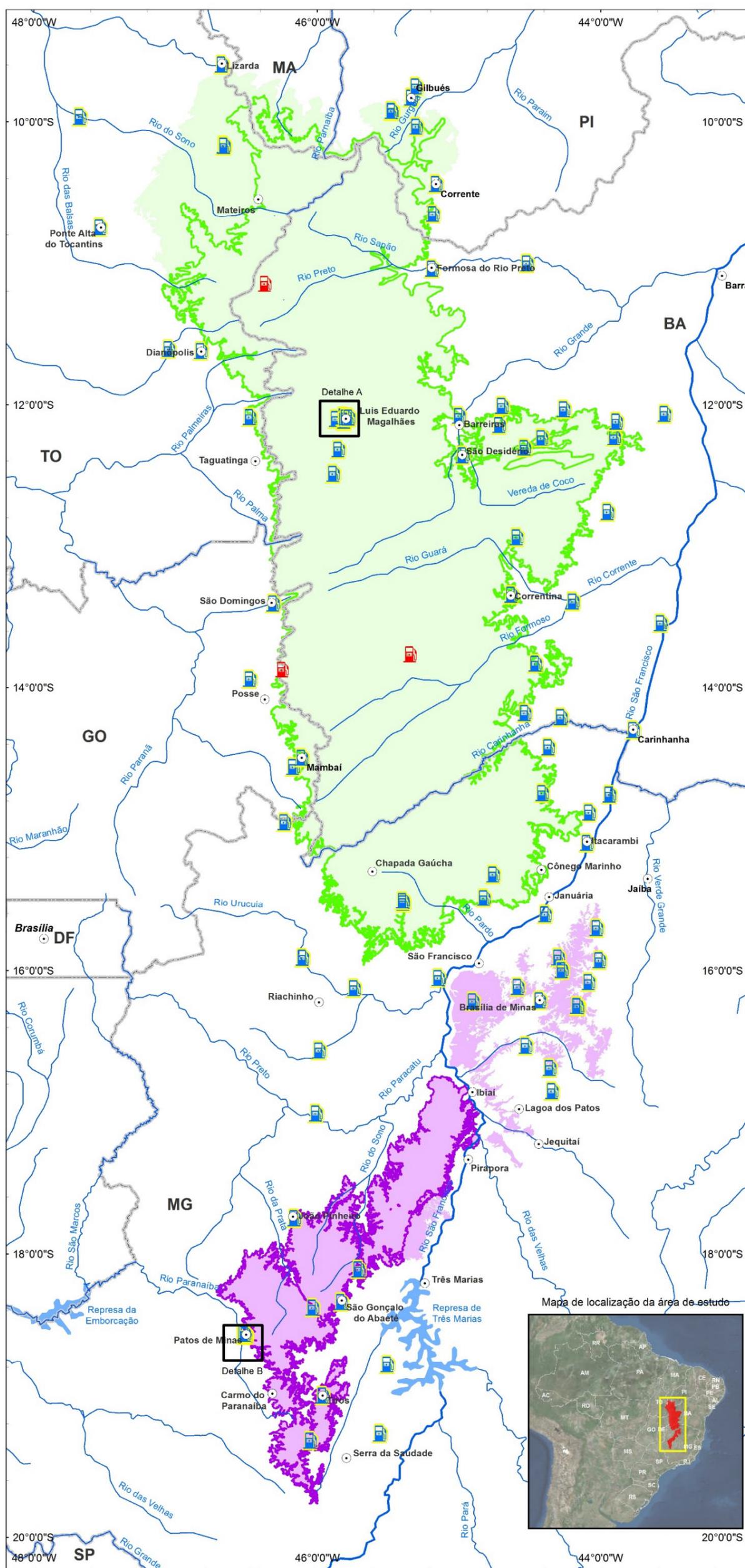
a) Postos de Abastecimento de Combustíveis

O levantamento dos postos de abastecimento de combustíveis foi efetuado através de consulta ao cadastro da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), disponível na *internet*. A pesquisa feita por município dentro dos limites do SAU e do SAA, sendo gerada uma listagem inicial com 763 postos de combustíveis.

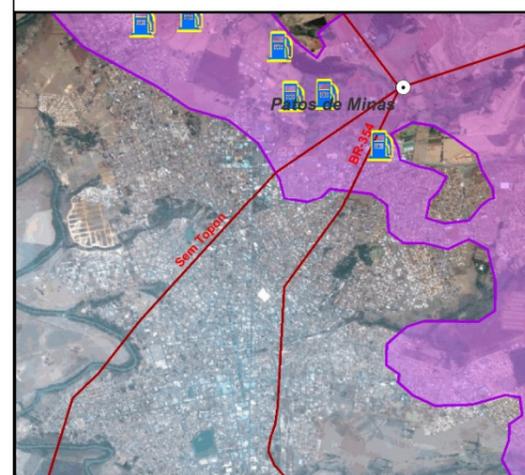
As coordenadas geográficas foram obtidas com auxílio do programa *Google Maps*, a partir dos endereços informados na consulta anterior, sendo possível localizar com maior precisão 535 do total de postos de combustíveis levantados. Por fim, com uso de ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) identificaram-se os postos de combustíveis dentro dos limites das áreas do SAU, SAA e nos arredores imediatos.

A análise dos dados obtidos permite verificar uma maior concentração de postos de abastecimento de combustíveis nos municípios de Luís Eduardo Magalhães-BA e Patos de Minas-MG, quando considerada somente a área de abrangência do SAU e SAA.

A Figura 4.6 apresenta a localização aproximada dos 535 postos de combustíveis, enquanto a Figura 4.7 apresenta a densidade de postos de combustíveis nos 114 municípios estudados. Foram incluídos 03 postos de combustíveis adicionais cuja localização foi indicada pela ANA/CTAF.



Detalhe A: Município de Luís Eduardo Magalhães



Detalhe B: Município de Patos de Minas

Convenções Cartográficas

- Sede Municipal
- ~ Hidrografia
- Massas d'água
- Limite Estadual

Legenda

- ~ Rio São Francisco
- SAU
- SAA
- Limites operacionais do SAU
- Limites operacionais do SAA

Fontes Potenciais de Contaminação

- Postos de Combustíveis - Localização indicada pela ANA/CTAF (03)
- Postos de Combustíveis - ANP (535)



PROJEÇÃO GEOGRÁFICA
Datum Horizontal: SAD/69
Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano 45° WGr
Acrescidas as constantes: 10.000 km e 500 km, respectivamente



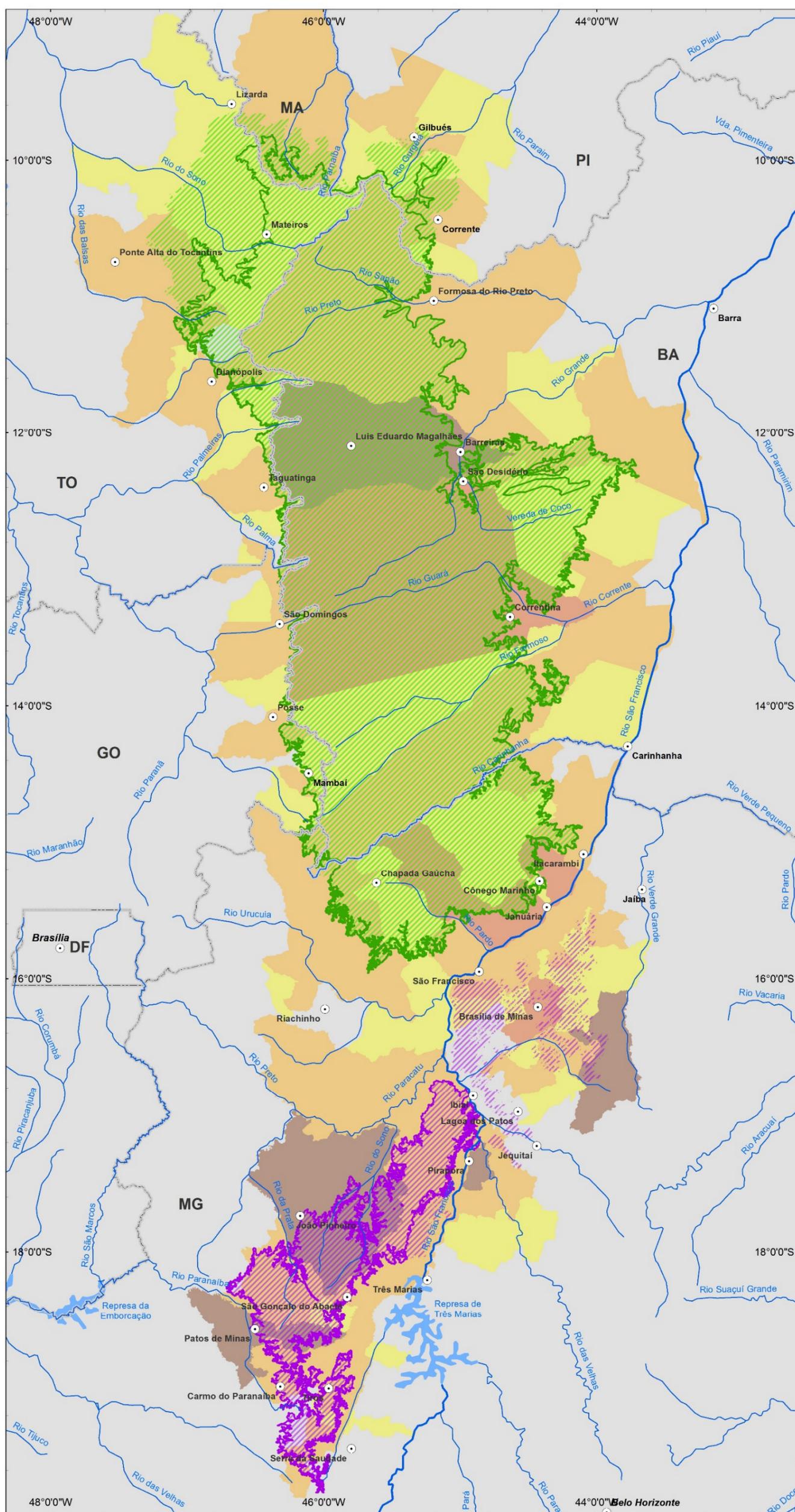
Estudos Hidrogeológicos e de Vulnerabilidade do Sistema Aquífero Uruçuia e Proposição de Modelo de Gestão Integrada e Compartilhada

TÍTULO Distribuição dos postos de abastecimento de combustíveis na região do SAU e SAA (Fonte: ANP, out/2011).

ESCALA NUMÉRICA 1:3.000.000 NÚMERO FIGURA 4.6

ESCALA GRÁFICA 0 10 20 40 60 80 Km

Figura 4.6 - Distribuição dos postos de abastecimento de combustíveis na região do SAU e SAA (Fonte: ANP, out/2011).



Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX.

Mapa de localização da área de estudo

Convenções Cartográficas

- Sede Municipal
- ~ Hidrografia
- Massas d'água
- Limite Estadual

Legenda

- ~ Rio São Francisco
- SAU
- SAA
- Limites operacionais do SAU
- Limites operacionais do SAA

Densidade de postos de combustíveis

- 0
- De 1 a 3
- De 4 a 10
- De 11 a 20
- >20

PROJEÇÃO GEOGRÁFICA

Datum Horizontal: SAD/69
 Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano 45° WGr
 Acrescidas as constantes: 10.000 km e 500 km, respectivamente

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

TÍTULO: Densidade dos postos de combustíveis na região do SAU e SAA.
 Fonte: ANP, out/2011

ESCALA NUMÉRICA: 1:3.000.000 NÚMERO FIGURA: 4.7

ESCALA GRÁFICA: 0 10 20 40 60 80 Km

Figura 4.7 - Densidade dos postos de abastecimento de combustíveis na região do SAU e SAA (Fonte: ANP, out/2011).

b) Indústrias

Para o levantamento das indústrias na área de interesse, foram consultados o Cadastro Industrial de Minas Gerais 2011, produzido pelo Centro Industrial e Empresarial de Minas Gerais (CIEMG), o Guia Industrial da Bahia, publicado na *internet* pela Federação das Indústrias do Estado da Bahia (FIEB) e o Banco de Outorgas Federais emitidas pela Agência Nacional de Águas - ANA de 1999 a 2011, disponível no *site* da ANA. A consulta foi realizada no mês de outubro, obtendo-se informações sobre as indústrias cadastradas e sobre os lançamentos industriais e de mineração outorgados para cada município inserido total ou parcialmente na área do SAU e SAA.

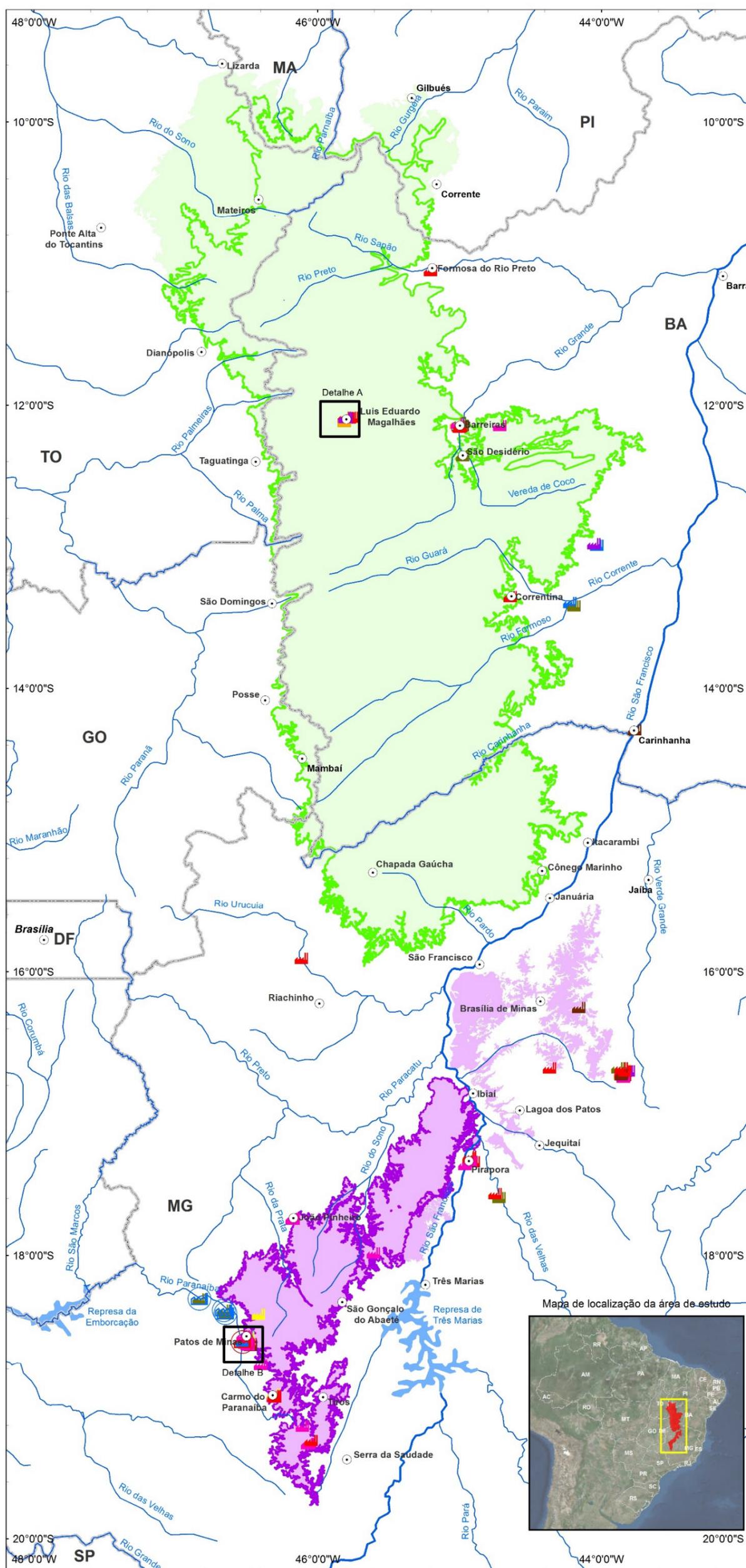
A partir destes levantamentos, fez-se uma seleção dos setores de atividade que representam possíveis ameaças de contaminação às águas subterrâneas. Os setores selecionados foram:

- ✓ Fabricação de Produtos de Plástico / Borracha;
- ✓ Fabricação de Produtos de Metal / Fundição / Torno e Solda;
- ✓ Frigoríficos / Abatedouros;
- ✓ Fabricação de Óleo;
- ✓ Indústrias Químicas ou Farmoquímicas;
- ✓ Mineração;
- ✓ Fabricação de Máquinas/ Equipamentos/ Instrumentos;
- ✓ Fabricação de Fertilizantes e Adubos/ Insumos Agrícolas;
- ✓ Fabricação/ Reparação de Veículos/ Oficinas Mecânicas;
- ✓ Curtume/ Artefatos de Couro.

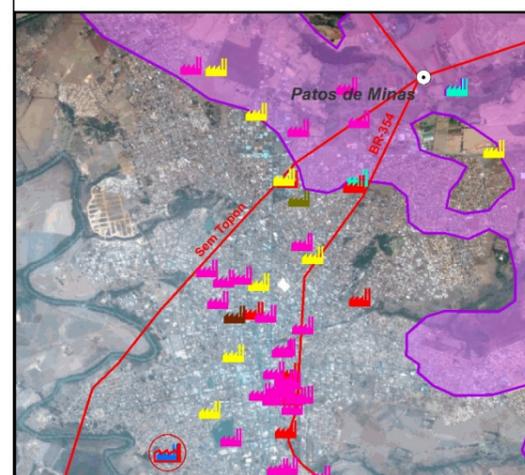
Nos cadastros consultados, exceto o da ANA, não há referência à localização precisa das indústrias, sendo assim, as coordenadas geográficas foram extraídas utilizando o programa *Google Maps* com a consulta dos endereços informados. A partir dessas informações, com uso de ferramentas de SIG foi possível identificar as indústrias que estão dentro dos limites da área de ocorrência do SAU e SAA e nos arredores imediatos.

No levantamento realizado verifica-se que há uma maior concentração de indústrias nos municípios de Luís Eduardo Magalhães-BA e Patos de Minas-MG, se considerado o limite da área de ocorrência do SAU e do SAA.

A Figura 4.8 apresenta a localização de todas as indústrias cadastradas nos 114 municípios abrangidos pela área do SAU e SAA.



Detalhe A: Município de Luís Eduardo Magalhães



Detalhe B: Município de Patos de Minas

Convenções Cartográficas

- Sede Municipal
- ~ Hidrografia
- Massas d'água
- Limite Estadual

Legenda

- ~ Rio São Francisco
- SAU
- SAA
- Limites operacionais do SAU
- Limites operacionais do SAA

Fontes Potencias de Contaminação

- Curtume/Fabr. Couro (12)
- Insumos Agrícolas (4)
- Fabr. Equipamentos (14)
- Fabr. Torno e Solda (49)
- Fabr. Plástico/Borracha (7)
- Frigoríficos/Abate - ANA (1)
- Fabr. Óleo (7)
- Ofic. Mecânicas (83)
- Frigoríficos/Abate (7)
- Ind. Químicas (12)
- Mineração (16)
- Mineração - ANA (3)



PROJEÇÃO GEOGRÁFICA
 Datum Horizontal: SAD/69
 Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano 45° WGr
 Acrescidas as constantes: 10.000 km e 500 km, respectivamente



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

TÍTULO: Distribuição das indústrias na região do SAU e SAA (Fonte: CIEMG, FIEB, ANA, out/2011).

ESCALA NUMÉRICA: 1:3.000.000

ESCALA GRÁFICA: 0 10 20 40 60 80 Km

Figura 4.8 - Distribuição das indústrias na região do SAU e SAA (Fonte: CIEMG, FIEB, ANA, out/2011).

c) Cemitérios

O levantamento de cemitérios existentes nos 114 municípios abrangidos pela região do SAU e SAA foi realizado a partir de análise de imagens do programa *Google Earth* nos meses de novembro e dezembro de 2011, fazendo-se a varredura de todas as manchas urbanas de sedes municipais e distritos.

A Figura 4.9 apresenta a localização dos 80 cemitérios levantados nos municípios inseridos total ou parcialmente na área de abrangência do SAU e do SAA.

d) Manejo de resíduos

Para levantamento da situação de manejo de resíduos dos municípios na área de abrangência do SAU e do SAA foi consultada a base de dados do Atlas de Saneamento 2011 (IBGE, 2011) que apresenta informações da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico do ano de 2008, na forma de mapas temáticos estaduais.

Nos levantamentos de campo foram identificados dois locais de disposição de resíduos, um no município de Barreiras (Latitude $-12,1402^{\circ}$ S, Longitude -44.9629° W) e outro em Luis Eduardo Magalhães (Latitude $-12,0683^{\circ}$ S, Longitude $-45,7881^{\circ}$ W), ambos localizados no Oeste Baiano.

Os dados obtidos mostram que dos 114 municípios, apenas 35 possuem a sede urbana na área de ocorrência do SAU e do SAA. Desses, 9 dispõem de aterros para disposição final dos resíduos sólidos urbanos enquanto os 26 demais se utilizam de lixões ou outras formas de destinação final.

e) Coleta e Tratamento de Esgoto

Para o levantamento da situação da rede de esgoto nos municípios com abrangência do SAU foi consultada a base de dados do Atlas de Saneamento 2011 (IBGE, 2011) que apresenta os resultados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008 na forma de mapas temáticos estaduais. O Quadro 4.3 resume as informações obtidas para os municípios que possuem sistemas de coleta e tratamento de esgotos. Todos os demais não são servidos por esses sistemas.

Foram também consultados os dados publicados da pesquisa SNIS (2007 a 2009), mas o resultado mostra informações de apenas 15 municípios. O quadro apresenta a informação mais recente do SNIS, conforme a disponibilidade de dados.

Verifica-se que a situação dos sistemas de coleta e tratamento de esgotos é ainda bastante deficiente nos municípios do SAU e do SAA. Nenhum município do Estado do Tocantins é servido por esses serviços e o único município do Estado do Maranhão localizado na área de estudo (Alto Parnaíba) também não é dotado desses sistemas.

Ressalva-se que as informações sobre coleta e tratamento de esgotos obtidas no Atlas de Saneamento (IBGE, 2011) e no SNIS (2007 a 2009) divergem entre si. Por exemplo, em Patos de Minas-MG a primeira fonte indica que o tratamento de esgoto do município é de 45,01 a 65%, enquanto a segunda apresenta índice de tratamento igual a 0.

QUADRO 4.3 - SERVIÇOS DE COLETA E TRATAMENTO DE ESGOTO EM MUNICÍPIOS COM OCORRÊNCIA DO SAU E DO SAA (FONTE IBGE, 2011)

Estado	Município	Sede no SAU ou SAA	Nº total habitantes (IBGE, 2010)	% Área no SAU ou SAA	Atlas de Saneamento (IBGE, 2011)		SNIS (2007 a 2009)	
					Sistema de coleta de esgoto	Tratamento esgoto (%)	IN024 - índice de coleta de esgoto (%)	IN046 - índice de tratamento de esgoto (%)
BA	Barreiras	S	137.427	89,7	S	> 90,1	8,29	6,88
	Correntina	N	31.249	94,2	S	0		
	Jaborandi	N	8.973	93,7	S	> 90,1	100,0	33,7
	Santa Rita de Cassia	N	26.250	0,0	S	> 90,1	18,12	20,2
MG	Arinos	N	12.485	20,3	S	> 90,1		
	Bonfinópolis de Minas	N	5.865	0,1	S	0		
	Brasilândia de Minas	N	14.226	14,7	SI	SI		
	Brasília de Minas	N	31.213	28,1	S	0	89,87	0,00
	Campos Altos	N	14.206	0,01	S	0		
	Carmo Do Paranaíba	N	29.735	12,2	SI	SI		
	Cedro do Abaeté	S	1.210	4,5	S	0		
	Coração de Jesus	N	26.033	19,4	S	> 90,1	34,41	24,47
	Dom Bosco	N	3.814	0,1	S	0		
	Icaraí de Minas	N	10.746	0,01	S	0		
	João Pinheiro	S	45.260	37,4	S	0,27 - 20,0	87,97	0,00
	Lagoa Formosa	N	17.161	0,6	S	0		
	Matutina	N	3.761	14,0	S	0		
	Montes Claros	N	361.915	0,6	S	0,27 - 20,0	100,00	0,34
	Patos de Minas	S	138.710	12,2	S	45,01 - 65,0	100,00	0,00
	Pirapora	N	53.368	2,4	S	65,01 - 90,0	2,1	
	Presidente Olegário	S	18.577	45,1	S	0		
	São Francisco	N	53.828	10,2	S	45,01 - 65,0	78,58	11,69
	São Gonçalo do Abaeté	S	6.264	29,7	S	0		
	São Gotardo	N	31.819	11,4	S	SI	86,45	0,00
Serra da Saudade	N	815	0,2	S	0	100	0	
Tiros	S	6.906	20,4	S	0			
Urucuia	N	13.604	34,1	S	> 90,1			
Varjão De Minas	S	6.054	35,8	S	> 90,1			
Várzea da Palma	N	35.809	0,9	S	0	7,55	2,41	
Varzelândia	S	19.116	10,7	S	> 90,1			
GO	Campos Belos	N	18.410	11,0	S	> 90,1	58,90	59,88
	Posse	N	31.419	18,3	S	> 90,1	61,39	61,90
PI	Corrente	N	25.407	54,0	S	> 90,1		

Legenda: S: sim, SI: sem informação

5. INVESTIGAÇÕES GEOFÍSICAS

Este capítulo apresenta os resultados das investigações geofísicas desenvolvidas no âmbito do presente estudo. A Geofísica é uma das áreas de conhecimento do ramo das Geociências que 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 operacionais, todavia é comum problemas de ambiguidades nas interpretações.

O objetivo das investigações geofísicas neste estudo foi determinar a distribuição espacial, espessura, litofácies e profundidade do nível d'água dos sistemas aquíferos Urucuia e Areado, respectivamente nas sub-bacias Urucuia e Abaeté, empregando-se diferentes métodos de aquisição de dados. Os trabalhos foram desenvolvidos com equipamentos modernos de alto desempenho, que possibilitaram a aquisição de dados precisos e confiáveis. 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 empregados três métodos geofísicos distintos nestes 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). Ao todo, foram realizadas 149 SEVs, 200 sondagens pelo método de TDEM e obtidos 200 registros gravimétricos.

A fim de minimizar ambiguidades comuns na interpretação de eletrofácies empregou-se a parametrização, que consiste em adicionar e fixar informações durante a inversão dos dados geofísicos. Assim, foram realizadas sondagens elétricas ao lado de cinco poços previamente selecionados que continham descrições de amostras de calha, e perfilagem geofísica no caso de um poço localizado no Distrito de Perdizes, município de São Desidério (BA). Todavia, descrições de amostras de calha pouco detalhadas de sequências predominantemente arenosas, sem contrastes de resistividade, não permitiram correlação efetiva com as SEVs, com exceção daquela realizada com base na perfilagem de Perdizes. A carência de informações de poços com perfilagem geofísica e de boas descrições de amostra de calha foram prejudiciais a esse processo.

5.1 MÉTODO DA ELETRORRESISTIVIDADE

Os levantamentos geofísicos pelo método de eletrorresistividade com utilização de Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e arranjo Schlumberger, com espaçamento máximo de $AB/2$ de 2000 m (Figura 5.1), tiveram como objetivo determinar a distribuição espacial dos sistemas aquíferos, suas espessuras e diferentes eletrofácies, profundidades dos níveis de água dos aquíferos. As interpretações das SEVs foram apoiadas no modelo geoeletrico definido pelo estudo, em informações de geologia de superfície e em dados de poços profundos.

Dentre as 149 SEVs executadas e modeladas neste estudo, 12 foram realizadas nos domínios operacionais do Sistema Aquífero Areado e 99 nos domínios operacionais do Sistema Aquífero

Urucuia (Figura 5.2). As demais sondagens foram realizadas em pontos fora dos domínios operacionais dos aquíferos ou em terrenos do embasamento proterozoico.

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

- ✓ Eletrofácies com valores de resistividade altos, típicos de sedimentos predominantemente arenosos dos grupos Urucuia e Areado;
- ✓ Eletrofácies com valores extremamente altos, associados ao Grupo Bambuí e ao embasamento constituído por rochas gnáissicas ou calcárias.



Figura 5.1 – Registro do levantamento geofísico de sondagem elétrica vertical (SEV).

Nos domínios dos sistemas aquíferos Urucuia e Areado foi possível distinguir as zonas não saturada e saturada, com base nas variações de resistividade. A zona não saturada apresentou ampla variação de resistividade, de 32,95 ohm.m a 569.855 ohm.m, onde valores inferiores a 100 ohm.m podem estar relacionados a sedimentos argilosos ou a sedimentos arenosos, inconsolidados e saturados; já valores superiores a 40.000 ohm.m correspondem, provavelmente, a níveis conglomeráticos e/ou arenosos silicificados. Na zona saturada foi possível distinguir 3 eletrofácies a partir da correlação dos níveis geoeletricos com a geologia: eletrofácies predominantemente siltoargilosas, eletrofácies predominantemente arenossiltosas e eletrofácies predominantemente arenosas.

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

As profundidades do nível de água subterrânea do SAU na sub-bacia Urucuia, com base nas interpretações das SEVs, variaram entre 2,1 m e 159,8 m. As maiores profundidades de nível de água foram constatadas, principalmente, na porção oeste da sub-bacia Urucuia. Na sub-bacia Abaeté, as profundidades do nível de água do SAA variaram entre 3,3 m e 28 m.

Com relação à espessura do SAU na sub-bacia Urucuia, a variação foi de 15 m (porção leste da área) a 400 m (porção noroeste da área) (Figura 5.3). Na sub-bacia Abaeté, a espessura do SAA variou entre 20,2 m e 115,65 m.

O comportamento dos estratos geoeletricos na sub-bacia Urucuia, interpretados em termos litológicos, é ilustrado nas seções das Figuras 5.5 a 5.8, cuja localização é mostrada no mapa da Figura 5.4. Na sub-bacia Abaeté, o comportamento dos estratos geoeletricos é ilustrado na seção da Figura 5.10, cuja localização é mostrada no mapa da Figura 5.9.

As SEVs, interpretadas com apoio de informações geológicas, indicaram a presença de rochas que podem estar relacionadas ao embasamento, em locais onde as descrições litológicas de poços não confirmam sua ocorrência. Uma das explicações aventadas para as respostas geoeletricas distintas das SEVs deve-se à presença de metassedimentos do embasamento que poderiam ter sido considerados, nas descrições de poços, como sedimentos do Grupo Urucuia, como no caso do poço de Perdizes.

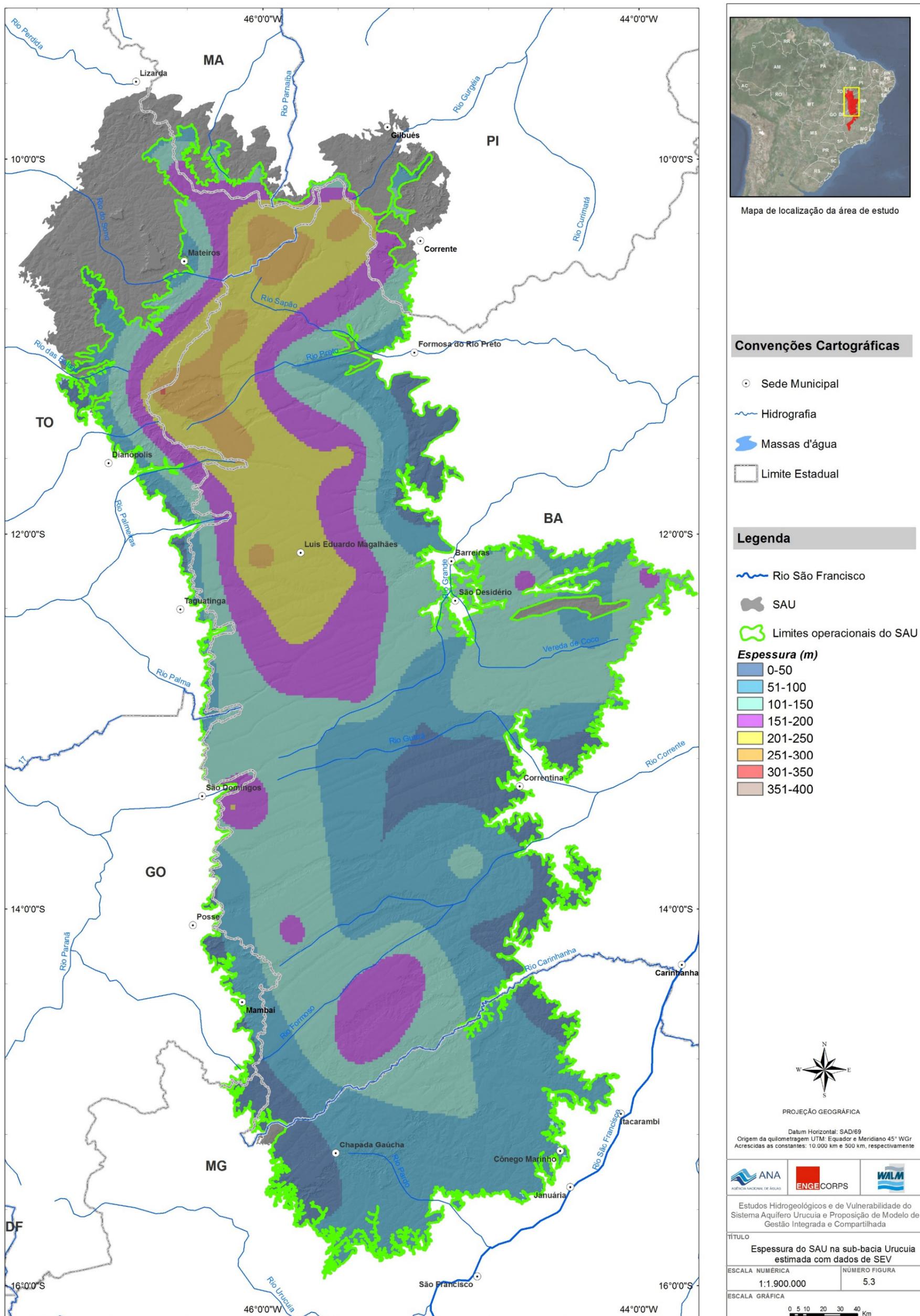


Figura 5.3 - Espessura do SAU na sub-bacia Uruçuia estimada com dados de SEV.

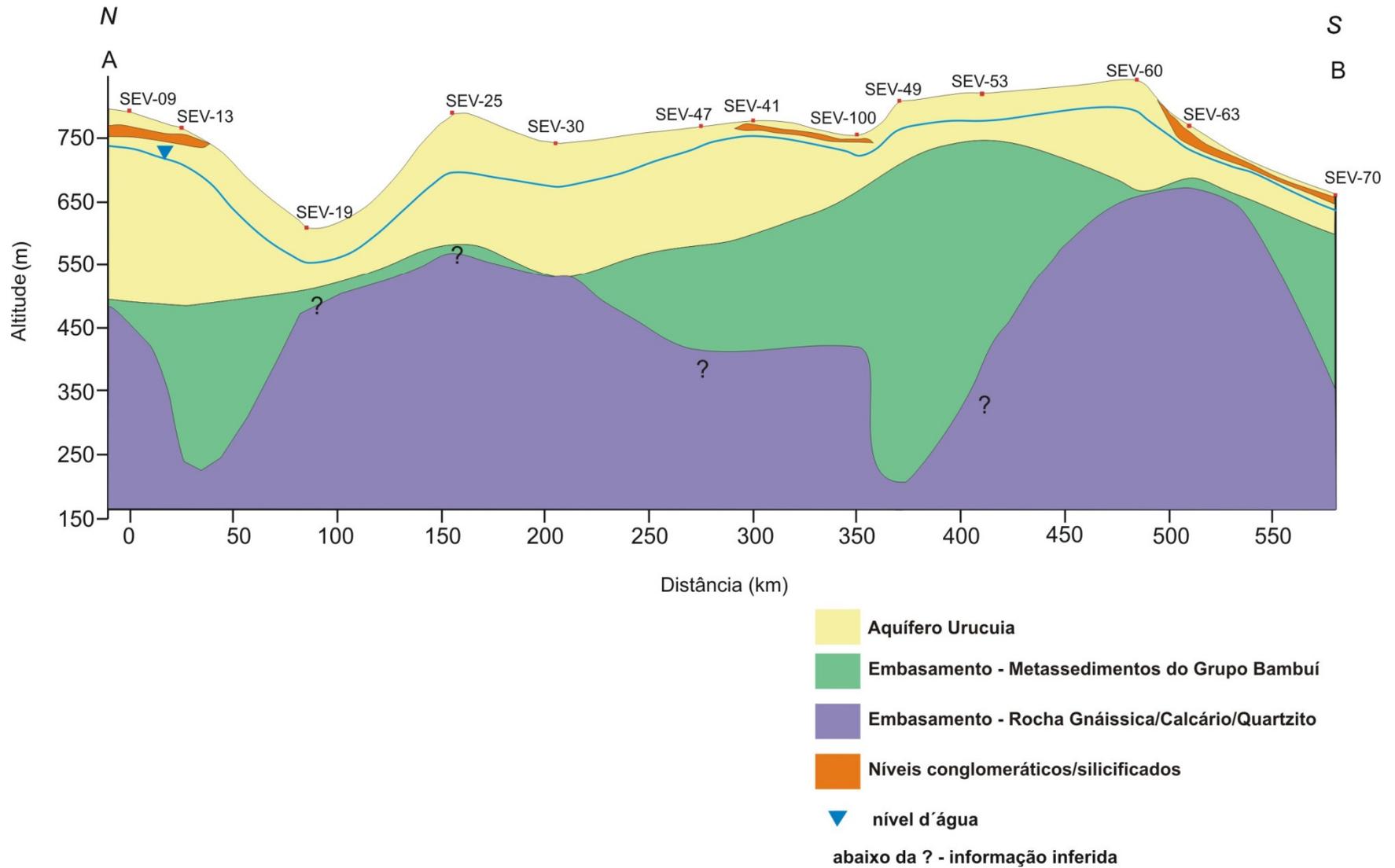


Figura 5.5 - Seção geoeletrica AB.

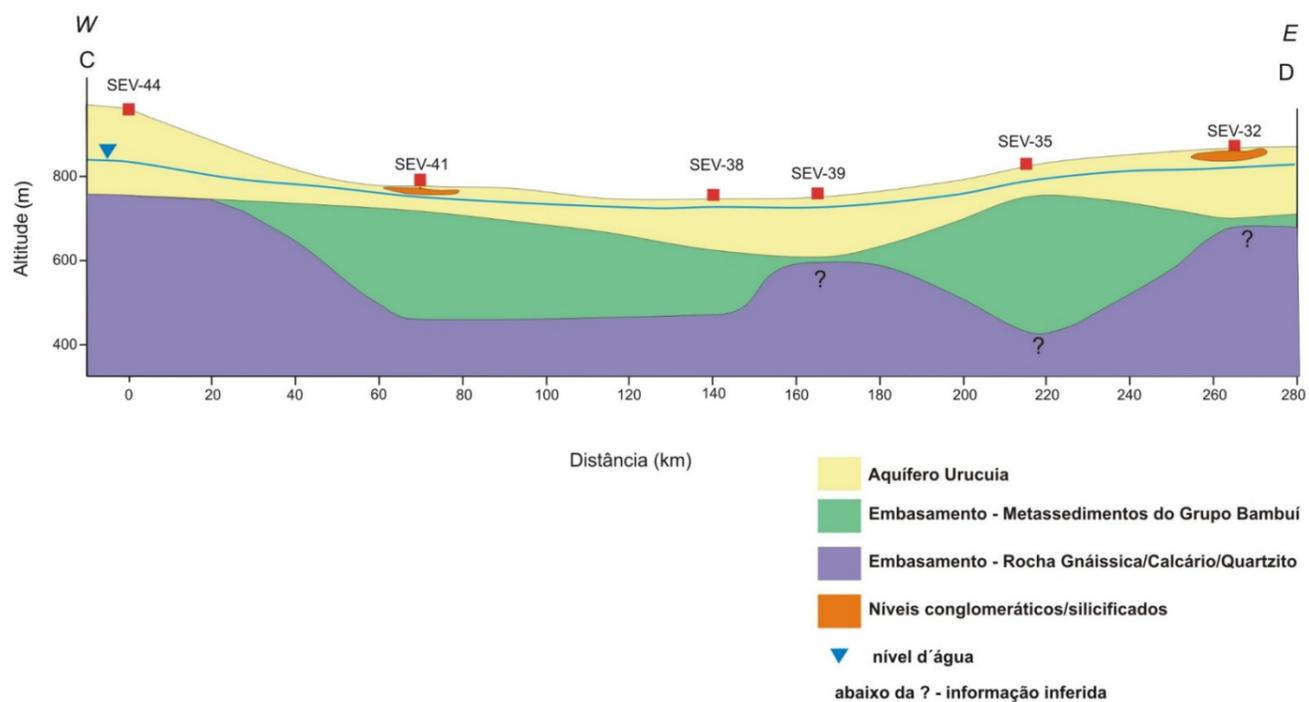


Figura 5.6 - Seção geológica CD.

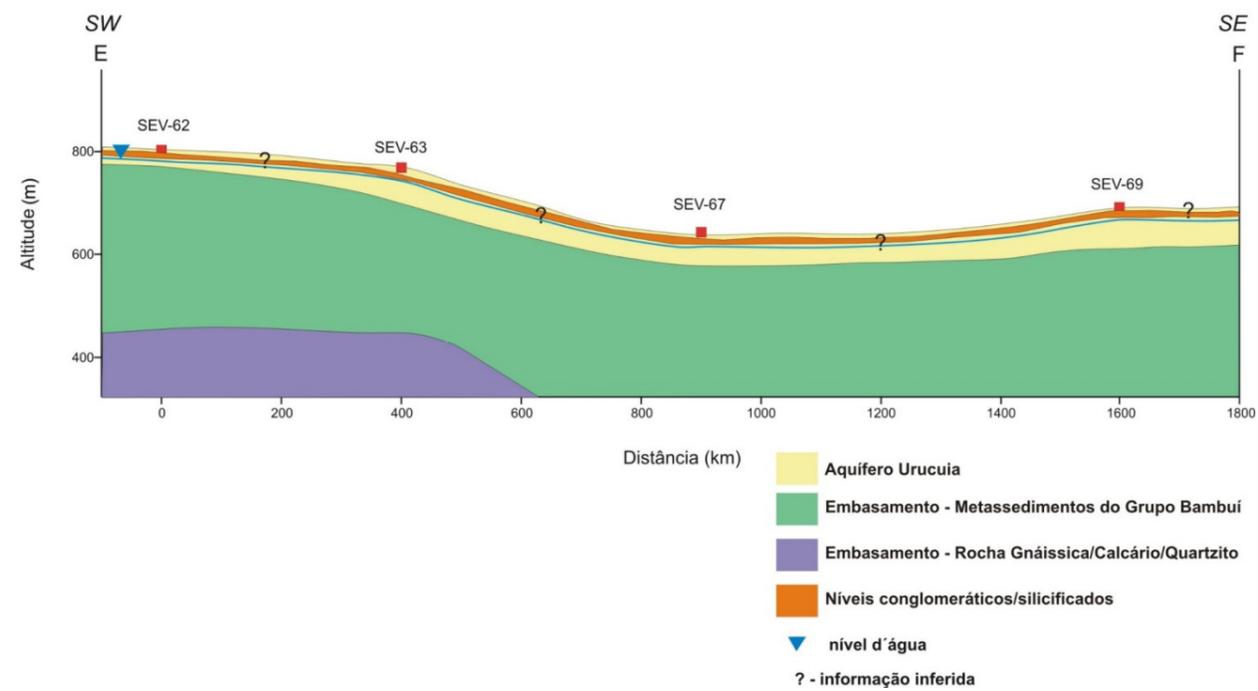


Figura 5.7 - Seção geológica EF.

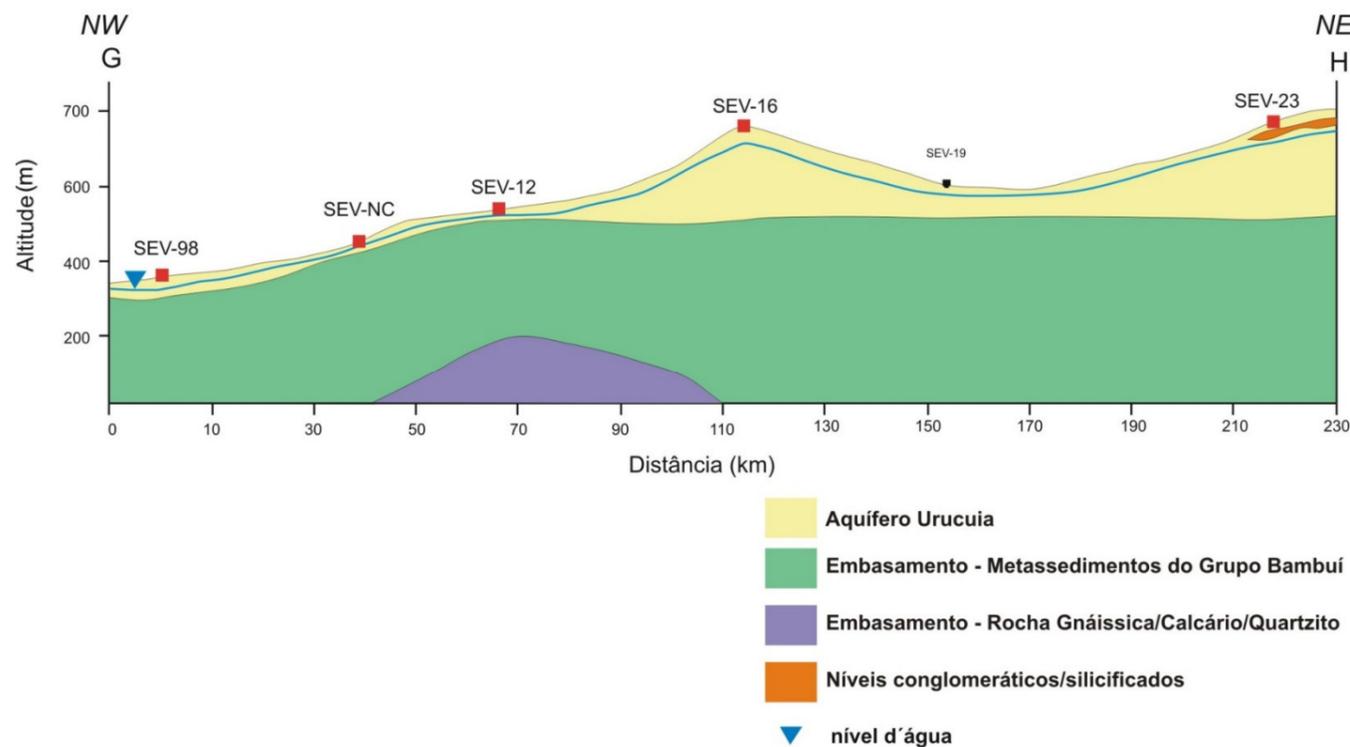
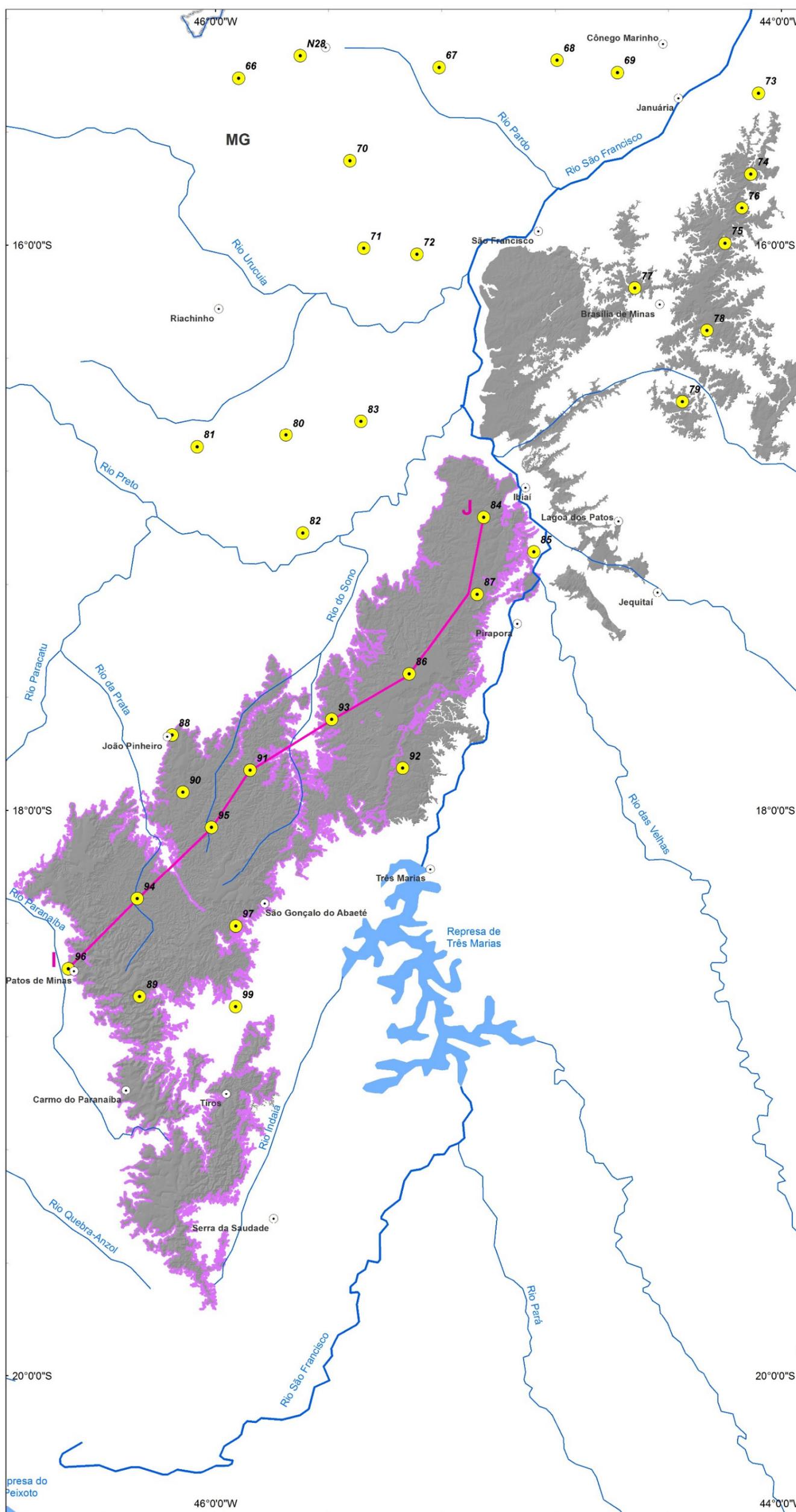


Figura 5.8 - Seção geológica GH.



Mapa de localização da área de estudo

Convenções Cartográficas

- Sede Municipal
- ~ Hidrografia
- Massas d'água
- Limite Estadual

Legenda

- ~ Rio São Francisco
- SEVs Executadas
- SAA
- ~ Limites operacionais do SAA
- Seção Geolétrica

PROJEÇÃO GEOGRÁFICA

Datum Horizontal: SAD/69
 Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano 45° WGr
 Acrescidas as constantes: 10.000 km e 500 km, respectivamente

ANA
 ENGE CORPS
 WALM

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

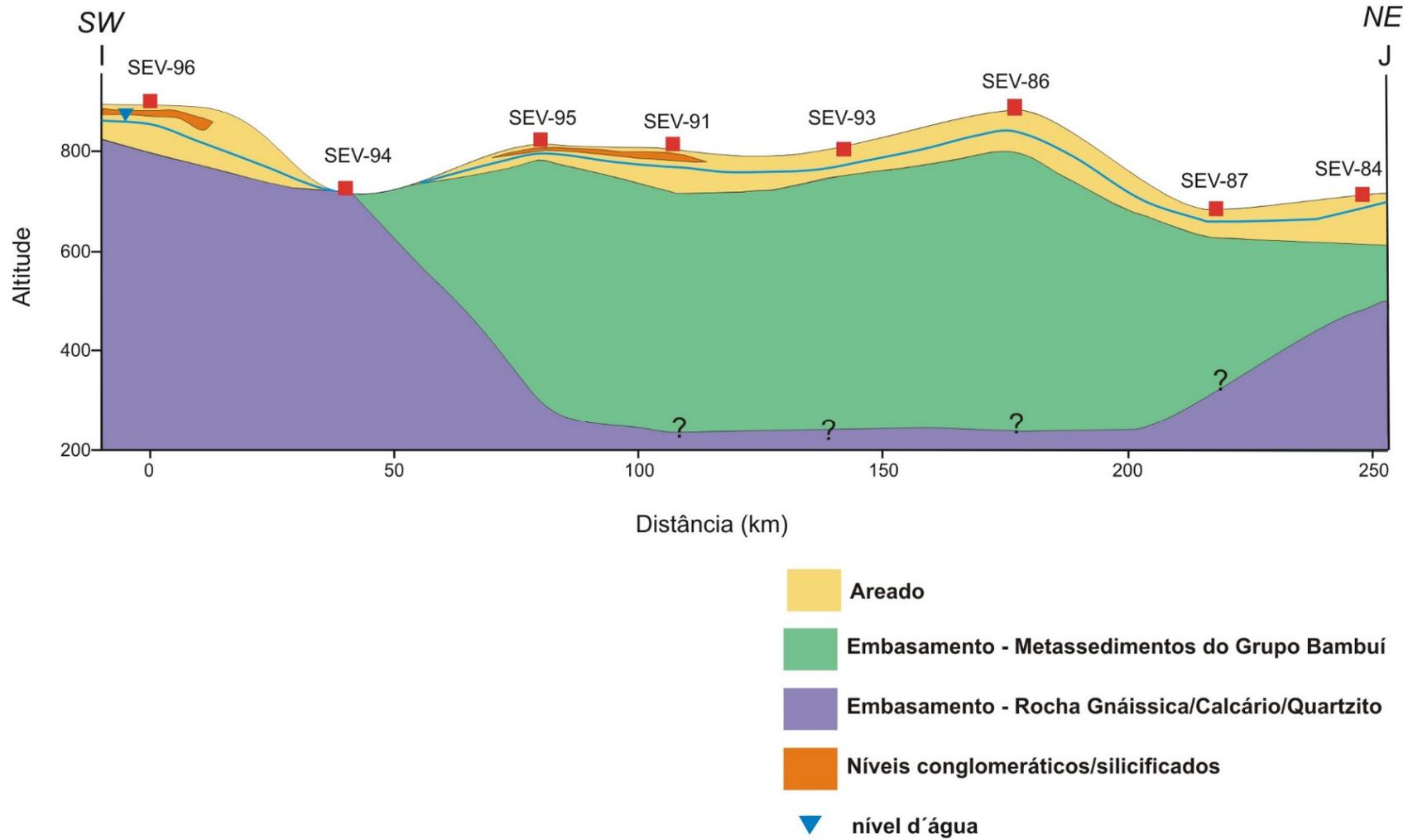
TÍTULO
 Mapa de localização da seção geolétrica na sub-bacia Abaeté

ESCALA NUMÉRICA
 1:1.450.000

ESCALA GRÁFICA
 0 5 10 20 30 40 Km

NÚMERO FIGURA
 5.9

Figura 5.9 - Mapa de localização da seção geolétrica na sub-bacia Abaeté.



abaixo da ? - informação inferida

Figura 5.10 - Seção geológica IJ.

5.2 MÉTODO ELETROMAGNÉTICO - TDEM

Foram realizadas 200 sondagens utilizando o método eletromagnético - TDEM ou TEM como é referido na bibliografia (Figuras 5.11 e 5.12). Das 200 sondagens realizadas, 33 foram desconsideradas devido a problemas de ruídos existentes nos dados. Sessenta e um (61) ensaios de TDEM foram locados próximos às SEVs, todavia, apenas 46 deles não apresentaram ruídos e os resultados puderam ser comparados com os resultados das SEVs.

O mapa de distribuição das espessuras do Sistema Aquífero Urucuia (Sub-bacia Urucuia), elaborado com dados de TDEM, representa variações que ocorrem no intervalo entre 2 m e 366,7 m, de acordo com os resultados das interpretações geofísicas (Figura 5.13).



Figura 5.11 - Registro do levantamento geofísico de sondagem eletromagnética no domínio do tempo (TDEM).

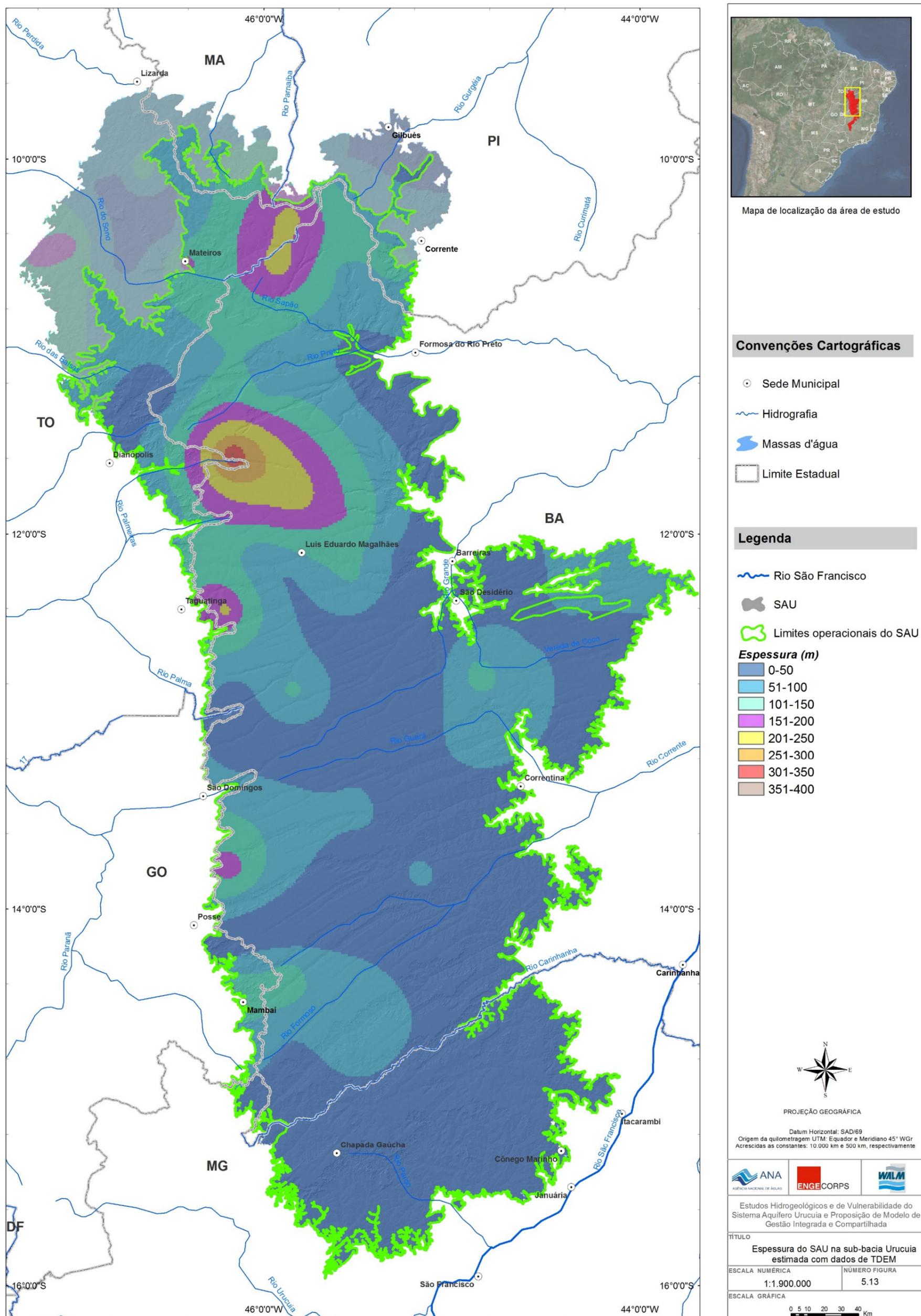


Figura 5.13 - Espessura do SAU na sub-bacia Uruçuia estimada com dados de TDEM.

A comparação entre os valores de espessura do SAU obtidos pelo método TDEM e pelo método elétrico (SEVs) mostra que somente em pouco mais da metade (52%) dos pontos ensaiados pelo método TDEM as diferenças de espessura foram menores ou iguais a 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.

O resultado demonstra que diferentes métodos geofísicos geram diferentes produtos em razão das particularidades de cada técnica empregada. A Figura 5.14 compara a distribuição das espessuras do SAU na sub-bacia Urucuia a partir de mapas gerados unicamente com dados interpretados pelos métodos de SEV ou de TDEM. Devido à redução de contraste na identificação dos estratos por meio da técnica TDEM, as espessuras do SAU obtidas por meio da técnica de SEV mostram-se mais condizentes com as espessuras presumíveis pelos consultores do consórcio para o aquífero. Por esta razão, não foi elaborado o mapa de espessuras do SAA na sub-bacia Abaeté com emprego de dados de TDEM.

Além da diferença dos resultados em função do uso de diferentes métodos geofísicos, deve-se considerar que vários estudos anteriores obtiveram valores de espessura do SAU maiores do que aqueles obtidos aqui neste estudo.

Lima (2000) em estudo geológico e geofísico do Aquífero Urucuia na Bacia do rio do Cachorro, executou 50 SEVs e Polarização Induzida no Domínio do Tempo (IP). A espessura da zona saturada obtida variou entre 180 e 400 metros. Amorim Jr (2003) e Amorim Jr & Lima (2007) fizeram uso de 80 SEVs e IP para dimensionar a geometria e reconhecer variações litológicas no aquífero Urucuia na sub-bacia do rio das Fêmeas. Os resultados indicaram espessuras de zona não saturada superior a 200 metros e a diminuição da zona saturada de 450 a pouco mais de 100 metros, no sentido oeste-leste.

Tschiedel (2004), no estudo da tectônica na sub-bacia do Urucuia utilizou dados de sondagem eletromagnética no domínio do tempo (TDEM). Foram levantados dois perfis regionais no Oeste Baiano. Os resultados dos modelos geológicos das seções indicam espessuras do Grupo Urucuia entre 300 e 720 metros. Gaspar (2006) fez uso de 27 TDEMs para determinar espessuras das rochas do Grupo Urucuia com vistas ao cálculo de reservas hídricas do SAU. Os resultados indicaram espessuras crescentes de rochas do Grupo Urucuia no sentido leste-oeste com valores desde 50-100 metros até mais de 450 metros, chegando a 600 metros na porção sul da sub-bacia do Urucuia.

CPRM & UFBA (2007) chegaram a 275 metros de espessura para as rochas do Grupo Urucuia com uso de medidas altimétricas e a investigação geofísica deste mesmo trabalho, utilizando dados elétricos e gravimétricos permitiram definir a estrutura regional do sistema aquífero

Urucuia como um pacote permeável acunhado, com espessura saturada variando de cerca de 500 metros ao longo de um alto divisor de fluxo a zero na porção leste terminal da bacia.

Considerando os resultados diferenciados de outros estudos, após a interpretação dos resultados geofísicos deste trabalho optou-se por acrescentar na modelagem da espessura do SAU dados de poços disponíveis na região que tinham a espessura do pacote rochoso atravessado mais espesso do que aquele obtido da interpretação geofísica (Quadro 5.1). Apenas um dos poços é totalmente penetrante no aquífero, enquanto que os outros têm seus perfis completamente dentro do pacote rochoso do SAU. Essa modelagem final foi utilizada para os cálculos de reservas que serão apresentados e discutidos no Volume 2 do Relatório Final destes estudos.

QUADRO 5.1 - POÇOS UTILIZADOS NA MODELAGEM DA ESPESSURA DO SAU

<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>Espessura SAU (metros)</i>	<i>Referência</i>
-11,930833	-5,537778	380	Fazenda Espírito Santo
-12,0858	-45,7911	315	Luís Eduardo Magalhães (Sede2)
-12,0806	-45,7726	300	Luís Eduardo Magalhães (Sede Jardim das Acácias)
-12,89079167	-45,1239	254 ¹	São Desidério_hidrocon
-12,068056	-45,8925	300	Fazenda Poletto
-13,953889	-46,2025	240	Vila rosário
-13,953056	-46,199444	240	Vila rosário
-13,785556	-46,0275	250	Correntina
-13,793611	-46,103611	180	ID SIAGAS 2900016257
-13,5265	-46,1515	185	Hidra
-13,805	-46,163056	200	ID SIAGAS 2900016256
-12,329722	-46,327778	185	Posto fiscal divisa BA/TO
-12,300556	-46,310278	200	Posto fiscal divisa BA/TO

¹ Poço totalmente penetrante no aquífero.

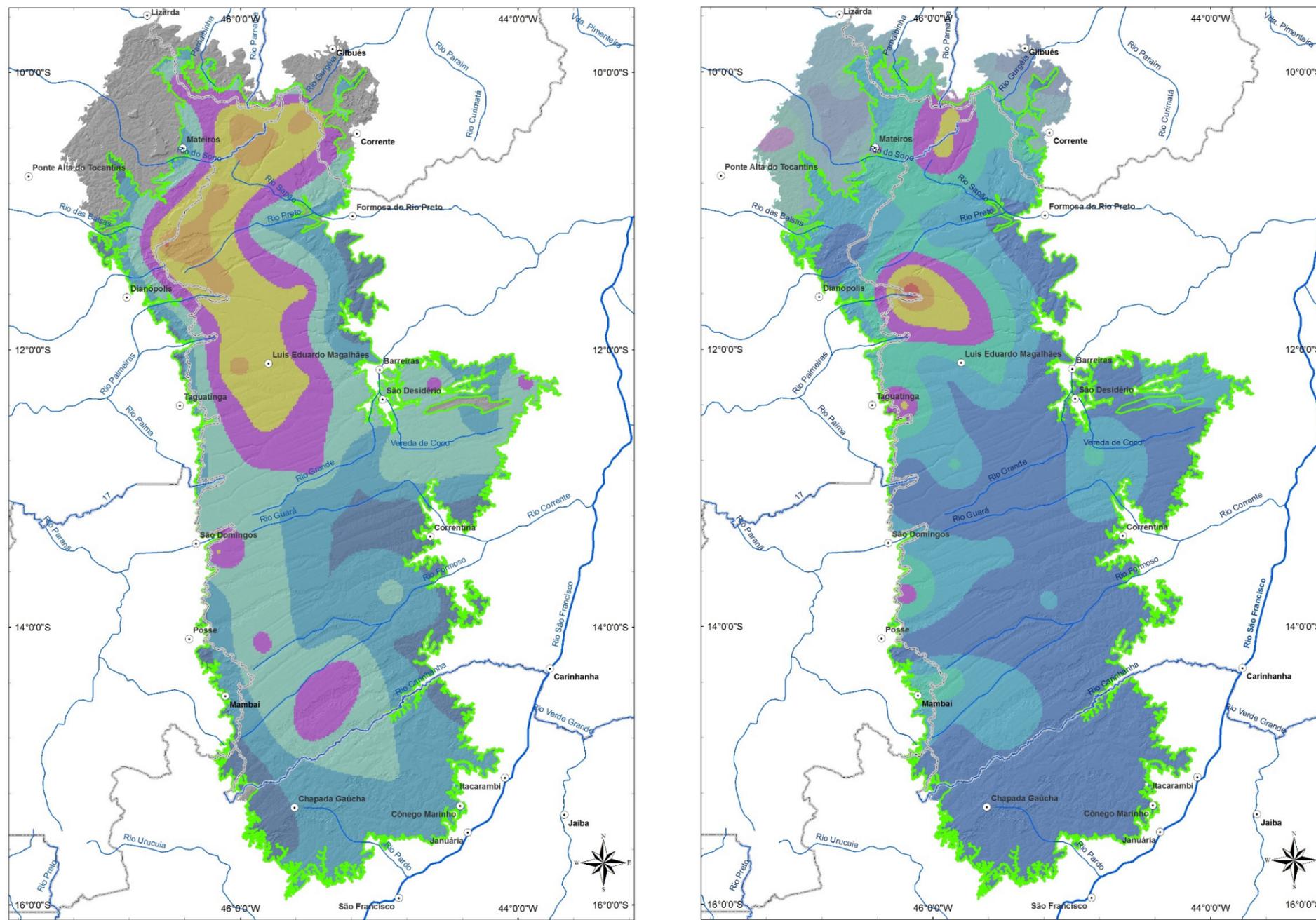
Após a conclusão da modelagem foram perfurados poços estratigráficos para ANP e CPRM (Serviço Geológico do Brasil) no estado da Bahia, onde o pacote rochoso do Grupo Urucuia foi totalmente atravessado.

Segundo dados do poço da ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis), disponibilizado na 12ª Rodada de Licitações de Petróleo e Gás (2013), o embasamento cristalino foi constatado a aproximadamente 900 metros de profundidade, sendo as rochas do Grupo Urucuia compondo 600 metros desse perfil. O poço foi perfurado às margens da BR-242, entre as cidades de Luís Eduardo Magalhães e Barreiras (BA).

Os poços perfurados pela CPRM, por sua vez, também atingiram espessuras maiores do que aquelas interpretadas pelos métodos geofísicos dos consultores deste projeto.

Considera-se, portanto, que a resposta elétrica e interpretações efetuadas pelos consultores do consórcio não permitiram a separação da base do Grupo Urucuia e topo do Grupo Bambuí; de tal forma que o SAU poderá ser mais espesso em diversas áreas, cenário esse demonstrado nos poços estratigráficos.

Deste modo, a modelagem de espessuras obtidas da interpretação geofísica foi uma das possibilidades de interpretação dos dados. De maneira que os dados brutos estão disponíveis para novas interpretações sob a ótica dos novos dados de espessuras alcançados pelos poços estratigráficos.



Espessura do SAU estimada com dados de SEV

Espessura do SAU estimada com dados de TDEM

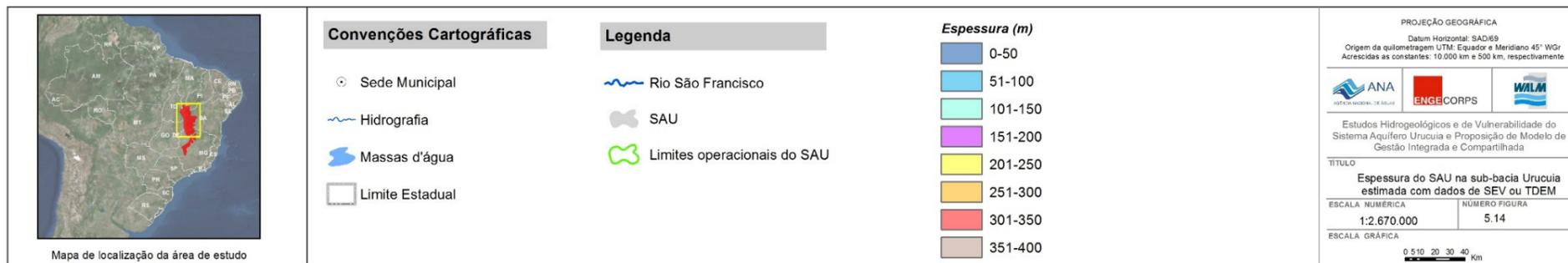


Figura 5.14 - Espessura do SAU na sub-bacia Uruçuia estimada com dados de SEV ou TDEM.

5.3 MÉTODO GRAVIMÉTRICO

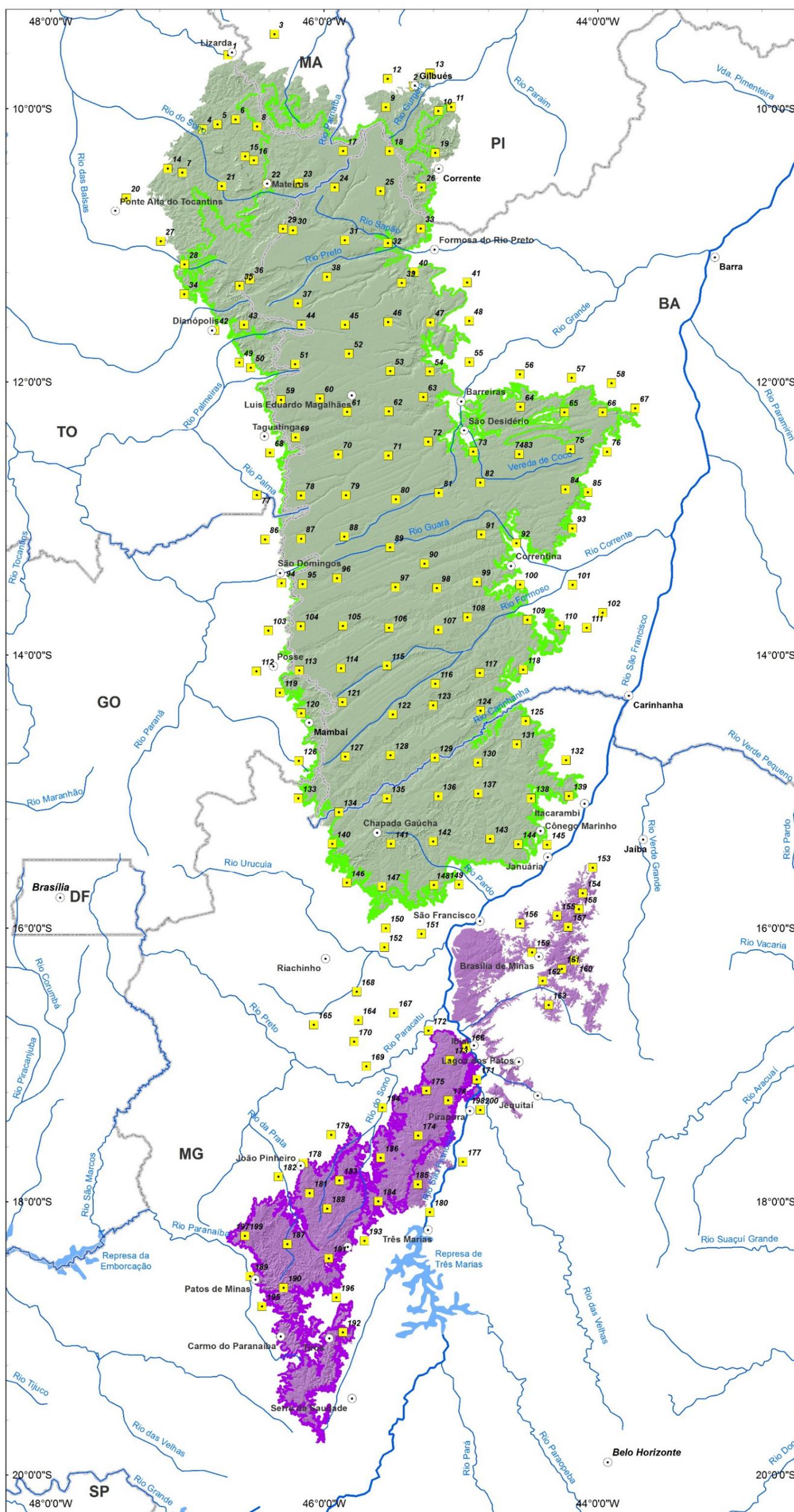
Os dados gravimétricos foram adquiridos em 200 estações distribuídas em uma malha com espaçamento de 30 m entre cada ponto, com posições coincidentes com os pontos de ensaio de TDEM (Figuras 5.15 e 5.16).



Figura 5.15 – Registro do levantamento geofísico do método gravimétrico.

A modelagem gravimétrica foi efetuada com diferentes valores de densidade para cada tipo de material, de acordo com estudos prévios e consultas bibliográficas. Os valores de densidades utilizados na modelagem foram de $1,9 \text{ g/cm}^3$ para as rochas associadas ao Grupo Urucua; $2,3 \text{ g/cm}^3$ para as rochas que compõem o Grupo Bambuí; $2,5 \text{ g/cm}^3$ para as rochas que compõem os Grupos Canastra e Espinhaço e $2,7 \text{ g/cm}^3$ para as rochas do embasamento cristalino. Com base na modelagem gravimétrica, foram elaboradas seis seções que permitiram estimar a geometria e delimitar o comportamento do Sistema Aquífero Urucua (Figuras 5.17 a 5.23).

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



Mapa de localização da área de estudo

Convenções Cartográficas

- Sede Municipal
- Hidrografia
- Massas d'água
- Limite Estadual

Legenda

- Rio São Francisco
- Estações Gravimétricas
- SAU
- SAA
- Limites operacionais do SAU
- Limites operacionais do SAA



PROJEÇÃO GEOGRÁFICA

Datum Horizontal: SAD/69
 Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano 45° WGr
 Acrescidas as constantes: 10.000 km e 500 km, respectivamente



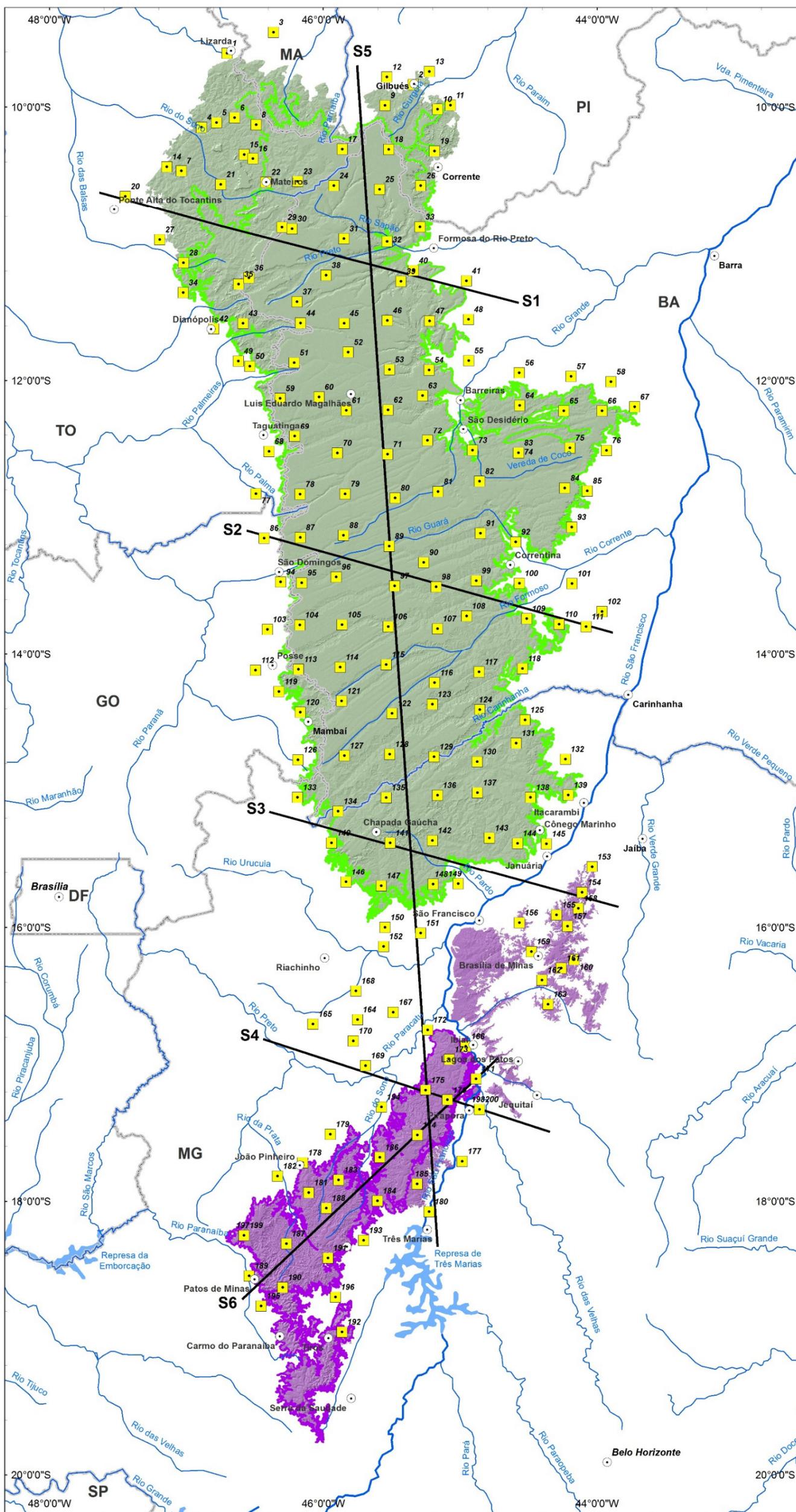
Estudos Hidrogeológicos e de Vulnerabilidade do Sistema Aquífero Urucua e Proposição de Modelo de Gestão Integrada e Compartilhada

TÍTULO: Localização das estações com medidas gravimétricas na região do SAU e SAA.

ESCALA NUMÉRICA: 1:3.000.000 NÚMERO FIGURA: 5.16

ESCALA GRÁFICA: 0 10 20 40 60 80 Km

Figura 5.16 - Localização das estações com medidas gravimétricas na região do SAU e SAA. Área 23 S na projeção UTM, datum WGS84.



Mapa de localização da área de estudo

Convenções Cartográficas

- Sede Municipal
- ~ Hidrografia
- Limite Estadual
- Massas d'água

Legenda

- ~ Rio São Francisco
- Seções gravimétricas
- Estações Gravimétricas
- SAU
- SAA
- Limites operacionais do SAU
- Limites operacionais do SAA



PROJEÇÃO GEOGRÁFICA

Datum Horizontal: SAD/69
 Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano 45° WGr
 Acrescidas as constantes: 10.000 km e 500 km, respectivamente



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

TÍTULO
 Localização das seções gravimétricas no SAU e SAA

ESCALA NUMÉRICA 1:3.000.000 NÚMERO FIGURA 5.17

ESCALA GRÁFICA
 0 10 20 40 60 80 Km

Figura 5.17 - Localização das seções gravimétricas no SAU e SAA.

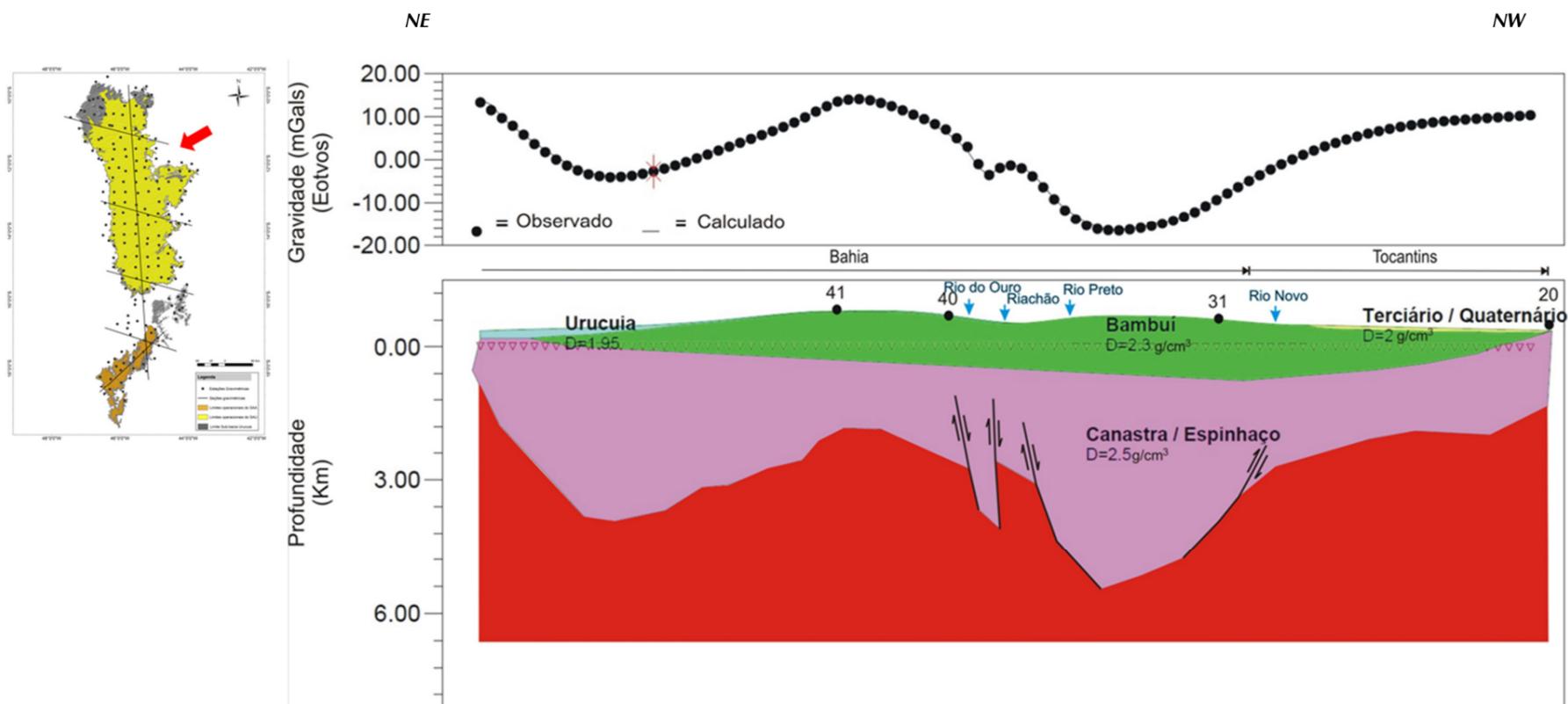


Figura 5.18 - Seção S1 modelada. A localização das estações gravimétricas (41, 40, 31 e 20) utilizadas é indicada no gráfico de profundidade.

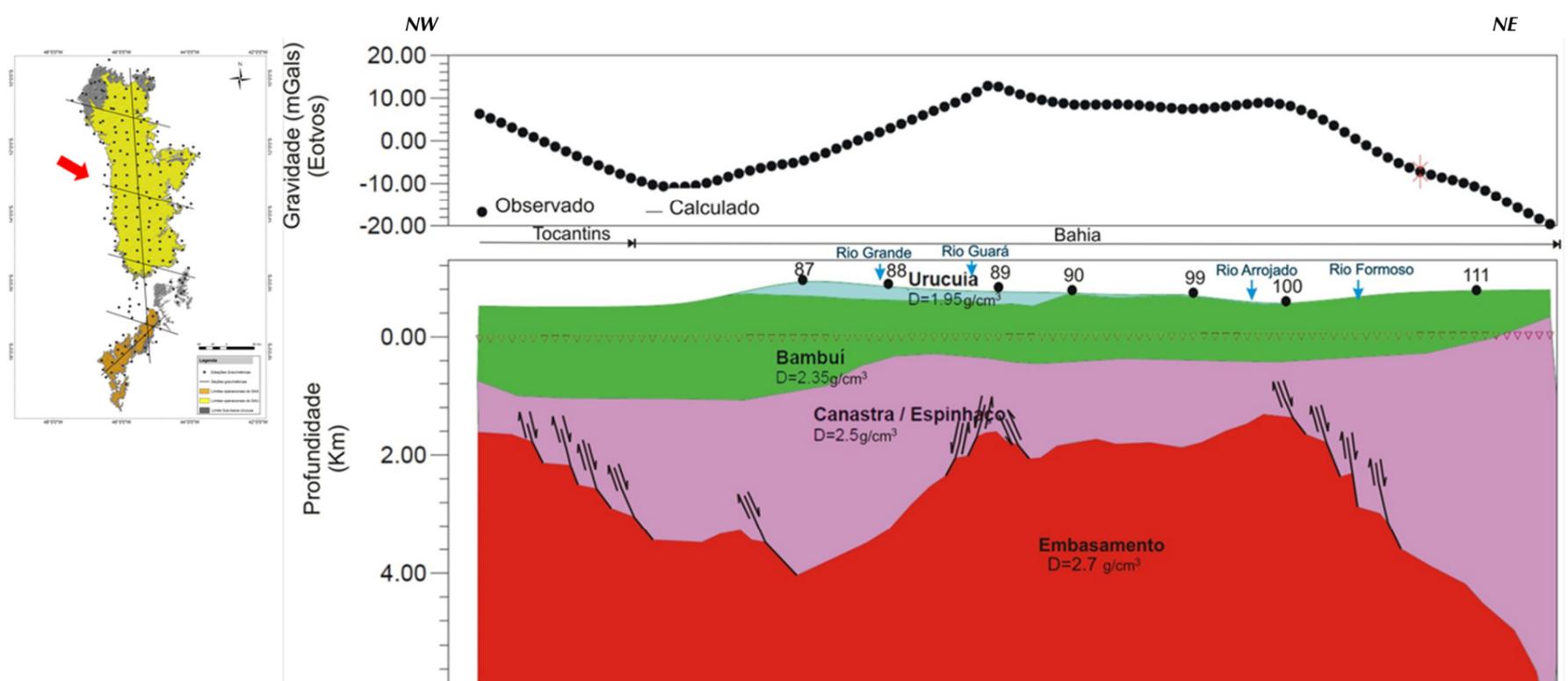


Figura 5.19 - Seção S2 modelada. A localização das estações gravimétricas (87, 88, 89, 90, 99, 100 e 111) utilizadas é indicada no gráfico de profundidade.

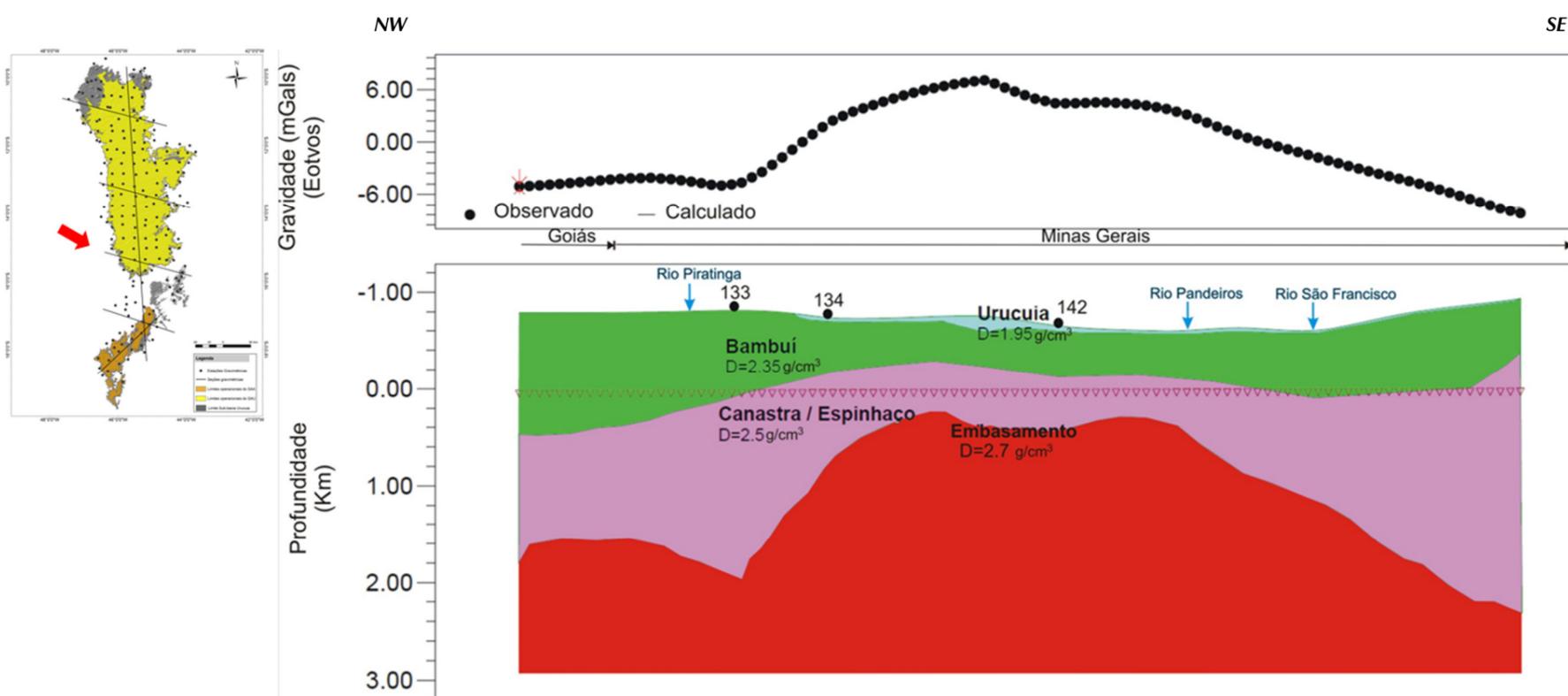


Figura 5.20 - Seção S3 modelada. A localização das estações gravimétricas (133, 134 e 142) utilizadas é indicada no gráfico de profundidade.

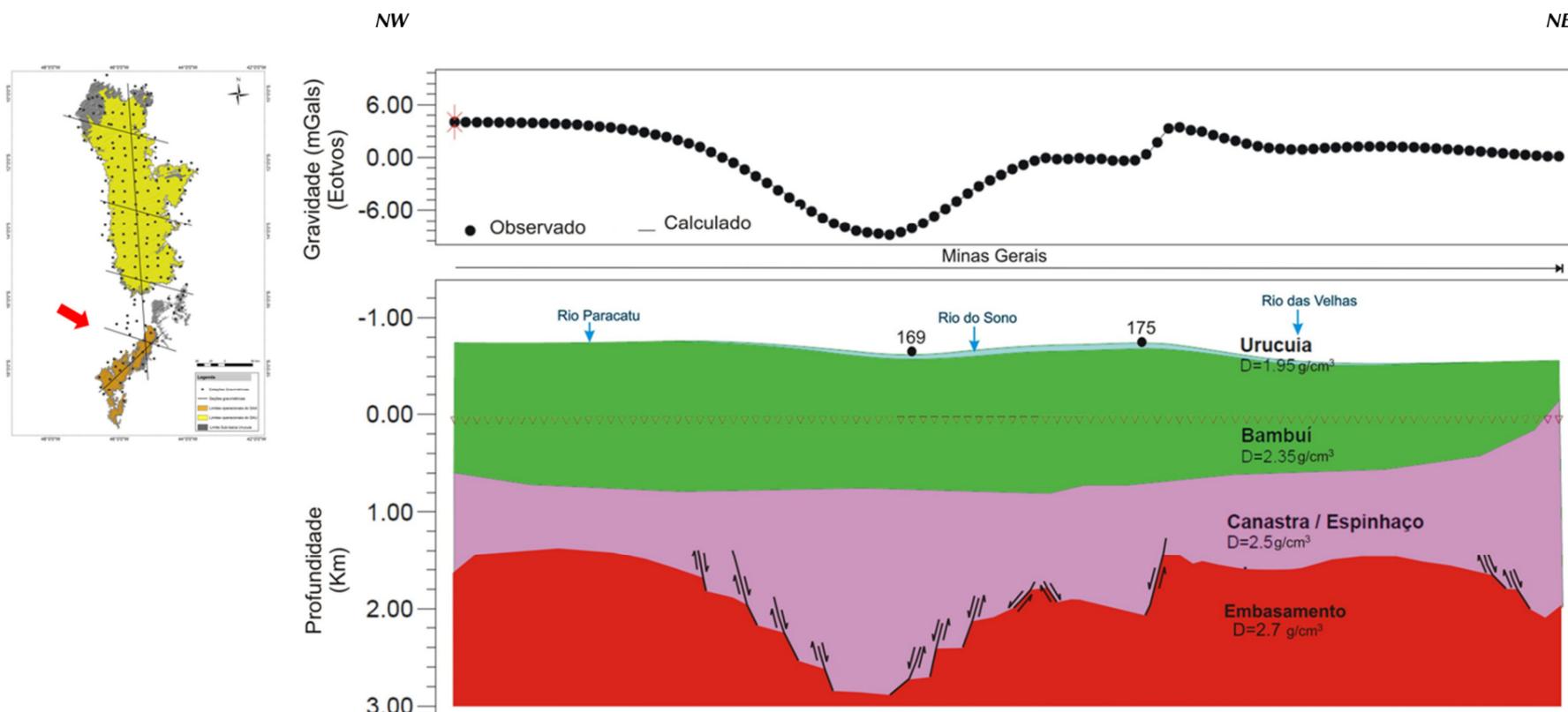


Figura 5.21 - Seção S4 modelada. A localização das estações gravimétricas (169 e 175) utilizada é indicada no gráfico de profundidade.

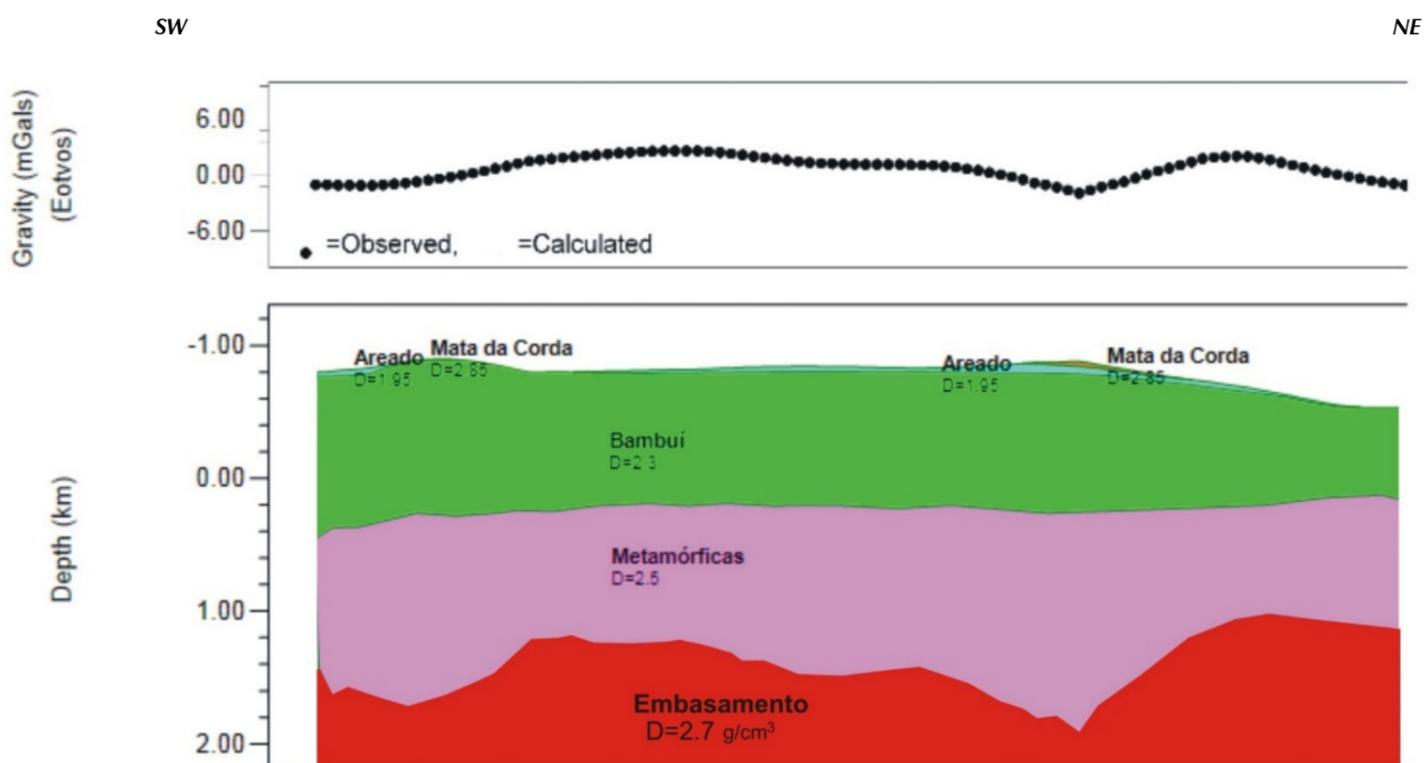


Figura 5.22 - Seção S6 modelada.

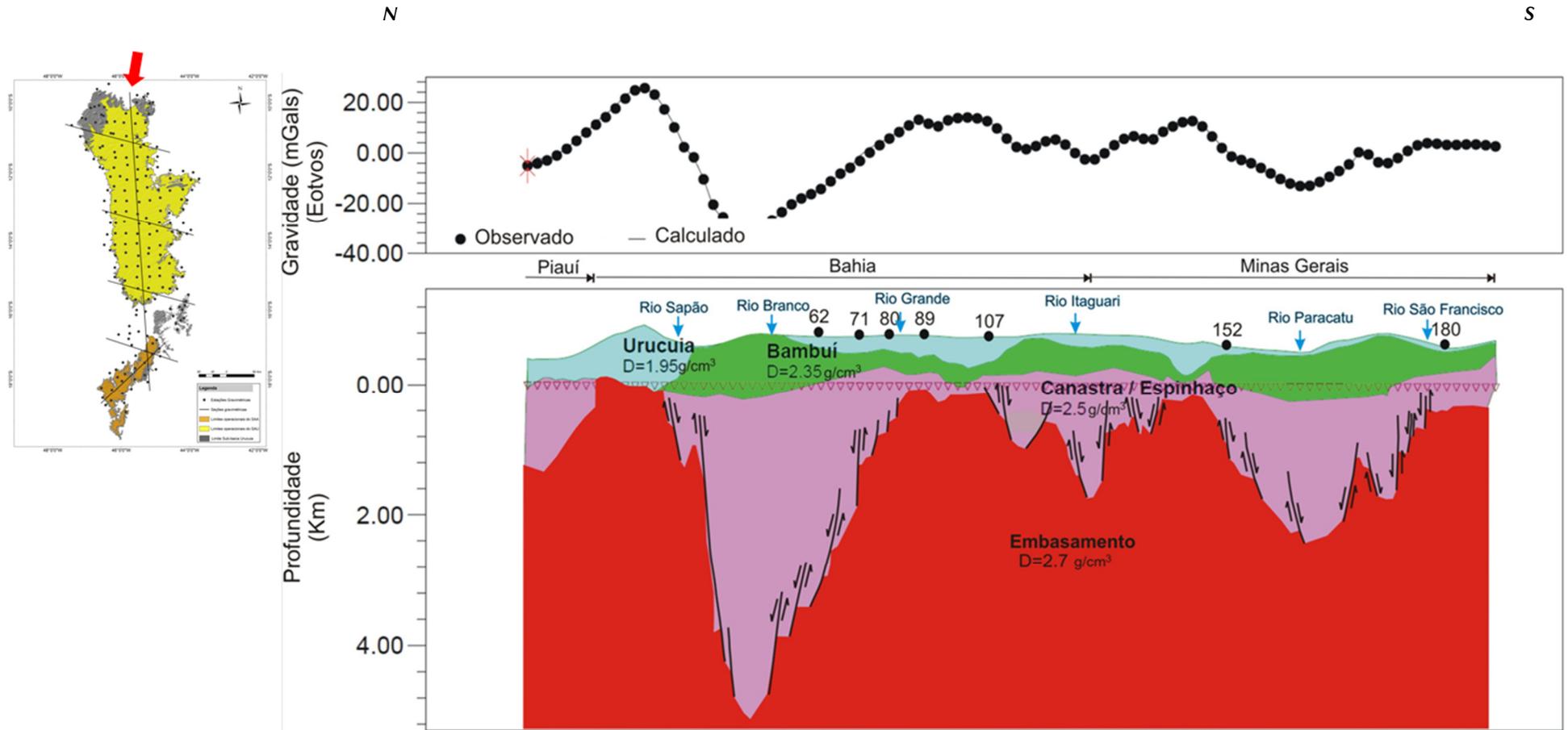


Figura 5.23 - Seção S5 modelada. A localização das estações gravimétricas (62, 71, 80, 89, 107, 152 e 180) utilizadas é indicada no gráfico de profundidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGEITEC – Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Caracterização Pedológica. Dados disponíveis em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>.
- AMORIM JUNIOR, V. Avaliação hidrogeológica do Aquífero Urucuia na bacia do rio das Fêmeas usando IP-Resistividade. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 82 p. 2003.
- AMORIM JUNIOR, V. & LIMA, O. A. L. de. 2003. Aquífero Urucuia: uma avaliação hidrogeológica integrando resistividade e polarização induzida no domínio do tempo. *International Congress of the Brazilian Geophysical Society*, 8, Rio de Janeiro, Brasil.
- ANA – Agência Nacional de Águas. Termos de Referência - Concorrência nº 005/ANA/2010.
- ANA – Agência Nacional de Águas. Banco de Outorgas Federais de 1999 a 2011. Dados disponíveis em <http://www.ana.gov.br>.
- ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Levantamento dos postos de abastecimento de combustíveis. Dados disponíveis em <http://www.anp.gov.br>. Consulta realizada em outubro de 2011.
- ASTM D3385 - 09 Standard Test Method for Infiltration Rate of Soils in Field Using Double-Ring Infiltrometer. (2008)
- BAPTISTA, M. C. Estratigrafia e evolução geológica da região de Lagoa Formosa, MG. Dissertação (Mestrado em Geologia). Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 116 p. 2004.
- CAMPOS, J. E.; DARDENNE, M. A. A glaciação Neopaleozóica na porção meridional da Bacia Sanfranciscana. *Revista Brasileira de Geociências* 24 (2): 65-76. 1994.
- CAMPOS, J. E.; DARDENNE, M. A. Estratigrafia e Sedimentação da Bacia Sanfranciscana: Uma Revisão. *Revista Brasileira de Geociências*, 27 (3): 269-282. 1997a.
- CAMPOS, J. E.; DARDENNE, M. A. Origem e Evolução Tectônica da Bacia Sanfranciscana. *Revista Brasileira de Geociências*, 27 (3): 283-294. 1997b.
- CHANG, H. K.; BENDER, A. A.; KOWSMANN, R. O. O papel das tensões intraplaca na evolução de bacias sedimentares: exemplo da Formação Urucuia. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 37. São Paulo, 1992. Anais...São Paulo, SBG. Vol. 2.p. 568: 569. 1992.
- CIEMG – Centro Industrial e Empresarial de Minas Gerais. Cadastro Industrial de Minas Gerais. Dados disponíveis em <http://www.cadastroindustrialmg.com.br>. Consulta realizada em outubro de 2011.

- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil. 2004. Nova Carta ao Milionésimo do Brasil. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. Sistema de Informações Geográficas – SIG. CD-ROM
- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil. Mapa de domínios e subdomínios hidrogeológicos do Brasil. Rio de Janeiro: CPRM, 2007. 1 CD-ROM.
- CPRM & UFBA – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais & Universidade Federal da Bahia. Comportamento das bacias sedimentares da região semi-árida do Nordeste Brasileiro. Hidrogeologia da bacia sedimentar do Urucuia: Bacias hidrográficas dos rios Arrojado e Formoso – Meta B – Caracterização Geológica e Geométrica dos Aquíferos. CPRM/FINEP, 69 p. il. 2007.
- CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M.R. *Hidrogeologia subterránea*. 2a ed. Barcelona: Ediciones Omega. 1983. 2v.
- ELRICK, D. E.; REYNOLDS, W. D. and TAN, K. A. (1989). Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analysis. *Groundwater Monitoring Review*. Vol. 9, pp. 184 - 193.
- FIEB – Federação das Indústrias do Estado da Bahia. Cadastro Industrial da Bahia. Dados disponíveis em <http://www.fieb.org.br>. Consulta realizada em outubro de 2011.
- FRAGOSO, D. G. C.; UHLEIN, A.; SANGLARD, J. C. D.; SUCKAU, G. L.; GUERZONI, H. T. G.; FARIA, P. H. Geologia dos grupos Bambuí, Areado e Mata da Corda na folha Presidente Olegário (1:100.000), MG: registro deposicional do Neoproterozóico ao Neocretáceo da Bacia do São Francisco. *Geonomos* 19(1): 28-38. 2011.
- GASPAR, M. T. P. Sistema Aquífero Urucuia: Caracterização Regional e Propostas de Gestão. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. 158p. 2006.
- GASPAR, M. T. P., CAMPOS, J. E. G., MORAES, R. A. V. 2012. Determinação das espessuras do Sistema Aquífero Urucuia a partir de estudo geofísico. *Revista Brasileira de Geociências*. 42(Suppl 1): 154-166, dezembro de 2012.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Atlas de Saneamento 2011, Rio de Janeiro, 2011. 298 p.
- IBGE/DSG – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e Diretoria de Serviço Geográfico do Exército. Cartas Topográficas. Escala 1:250.000, 1970-1980.
- LIMA, O. A. L. 2000. Estudos Geológicos e Geofísicos do Aquífero Urucuia na Bacia do rio do Cachorro – Oeste da Bahia. 42p. Publicação da SRH-BA e UFBA. Disponível em www.srh.ba.gov.br/publicações.

- MAIA-RODRIGUES, B.; FELIPPE, M. F., COSTA, A.; CHAVES, A.; BORGES, P. Domínios geomorfológicos e modificações do espaço agrícola de Barreiras-BA: aplicações de geoprocessamento no estudo dos condicionantes físicos da evolução do uso do solo em um pólo sojicultor. Disponível em: <http://gpa.eng.br/Dom%3%ADnios%20geomorfol%3%B3gicos%20e%20modifica%3%A7%C3%B5es%20do%20espa%3%A7o%20agr%3%ADcola%20de%20Barreiras-BA-aplica%3%A7%C3%B5es%20de%20geoprocessamento.pdf>.
- MENDES, L. R. Aplicação de Técnica de Geoprocessamento para Análise Geomorfológica do Parque Estadual do Jalapão (TO) e Entorno. Instituto de Ciências Humanas. Universidade de Brasília. Brasília. 2008.
- MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto Radam. Parte das folhas SC.23 Rio São Francisco e SC.24 Aracaju. 1973.
- REYNOLDS, W. D. & ELRICK, D. E. (1983). A reexamination of the constant head well permeameter method for measuring saturated hydraulic conductivity above the water table. *Soil science*, Vol. 136, no 4, pp. 250-268.
- REYNOLDS, W. D. & ELRICK, D. E. (1985). In situ measurement of field - saturated hydraulic conductivity, sorptivity and the α -parameter using the Guelph permeameter. *Soil Science*, v. 140, n° 4, pp. 292 - 302, 1985.
- REYNOLDS, W. D. & ELRICK, D. E. (1986). A method for simultaneous in situ preasurement in the vadose zone of field saturated hydraulic conductivity, sorptivity and the conductivity- pressure head relationships.. *Ground Water Monitoring*. Rev. 6(1), P.84-95.
- RICHARDS, B. G. (1931). Capillary conduction of liquids through porous medium. *Physics*, New York, 1, pp. 318 - 333.
- SEER, H. J.; MORAES, L. C.; FOGAÇA, A. C. C. Roteiro geológico para a região de Lagoa Formosa – Chumbo - Carmo do Paranaíba, MG. SBG. Núcleo Minas Gerais, Belo Horizonte, Boi. 9. 58pp. 1989.
- SGARBI, G. N. C. The Cretaceous Sanfranciscan Basin, Eastern Plateau of Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 30 (3): 450-452. 2000.
- SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto, 2007 a 2009. Dados disponíveis em <http://www.snis.gov.br>.
- TSCHIEDEL, M. W 2004. Aplicação de estudo geofísico como contribuição ao conhecimento da tectônica da Sub-Bacia Urucua. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, 76 p.



CONSORCIO



MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE

