

# ESTUDO DE VULNERABILIDADE NATURAL À CONTAMINAÇÃO E ESTRATÉGIAS DE PROTEÇÃO DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI NAS ÁREAS DE AFLORAMENTO

## RELATÓRIO FINAL | TOMO II

Resultados e Estratégias de Proteção do SAG obtidos a partir de estudos realizados na escala 1:50.000 na área piloto de São Gabriel do Oeste – MS



© 2014, 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>

Equipe:

#### Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização

Adriana Niemeyer Pires Ferreira (ANA)	Everton Luiz da Costa Souza (IAP-PR)	Angélica Haralampidou (IMASUL-MS)
Leonardo de Almeida (ANA)	Jurandir Boz Filho (IAP-PR)	Cleuza Gomes Viana (IMASUL-MS)
Ellen Bassan Beneduzzi (SEMA-RS)	Emílio Carlos Prandi (DAEE-SP)	Lilian Apoitia (SEMA-MT)
Rejane B. de Abreu e Silva (SEMA-RS)	Mara Akie Iritani (IG-SP)	Renato Blat Miglorini (UFMT-MT)
Edison Pereira de Lima (SDS-SC)	Maricene Menezes de O. Paixão (IGAM-MG)	Hugo T. Soares (SEMARH-GO)
Fabio Zandonai (SDS-SC)	Maria Goretti Haussman (IGAM-MG)	Diogo Lourenço Segatti (SEMARH-GO)

#### Elaboração e Execução – Engecorps

Marcos Oliveira Godoi – Diretor Técnico  
Maria Bernadete Sousa Sender – Coordenação Geral

#### Membros da Equipe Técnica Executora

Flávio de Paula e Silva – Coordenador Técnico

Andresa Oliva	Ualfrido del Carlo Junior	Rafael Assad Luz
Marcia Regina Stradioto	Chang Hung Kiang	Marcos Alexandre Polzin
Gerardo Verolavsky	Osmar Sinelli	Eduardo Kohn
Flávio Almeida da Silva	Roger Dias Gonçalves	Milena Mariano dos Santos
Daniel Klein	Pedro Henrique D. Delmont	Francisco M. W. Tognoli
Christiane Spörl	Talita Filomena Silva	Alberto Manganelli
Aída Maria Pereira Andrezza	Henrique A. de A. Ramos	Ana Paula Ferrareze
Maria Luiza Granziera	Sibele Lima Dantas	Natalie Aubet

Todos os direitos reservados

Segundo Contrato nº 10/ANA/2012, Cláusula Terceira, Inciso II, item i) Segundo o Contrato é vedada a divulgação de informações a terceiros ou a realização de publicidade acerca do Contrato, salvo expressa autorização da CONTRATANTE;

<b>A265e</b>	Agência Nacional de Águas (Brasil). Estudo de vulnerabilidade natural à contaminação e estratégias de proteção do sistema Aquífero Guarani nas áreas de afloramento: Relatório Final / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2014. Publicado em 2016.  1p.  1. Recursos Hídricos – Contaminação 2. Aquífero Guarani 3. Águas Subterrâneas - Gestão I. Título
--------------	--

CDU 556.33

## **República Federativa do Brasil**

Michel Miguel Elias Temer Lulia

Vice-Presidente da República no Exercício do Cargo de Presidente da República

## **Ministério do Meio Ambiente**

Sarney Filho

Ministro

## **Agência Nacional de Águas**

### **Diretoria Colegiada**

Vicente Andreu (Diretor-Presidente)

Paulo Lopes Varella Neto

João Gilberto Lotufo Conejo

Gisela Damm Forattini

Ney Maranhão

## **Superintendência de Implementação de Programas e Projetos**

Ricardo Medeiros de Andrade

Tibério Magalhães Pinheiro

## **Coordenação de Águas Subterrâneas**

Fernando Roberto de Oliveira

Adriana Niemeyer Pires Ferreira (Gestora)

Leonardo de Almeida (Gestor Substituto)

Fabício Bueno da Fonseca Cardoso

Flávio Soares do Nascimento

Letícia Lemos de Moraes

Márcia Tereza Pantoja Gaspar

Marco Vinicius Castro Gonçalves

**AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS**  
MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE

**Estudo de Vulnerabilidade Natural à  
Contaminação e Estratégias de Proteção do  
Sistema Aquífero Guarani nas Áreas de  
Afloramento**

*RELATÓRIO FINAL*

*TOMO II - ÁREA PILOTO DE SÃO GABRIEL*

*DO OESTE (MS)*

ENGENCORPS ENGENHARIA S.A.

**Brasília – DF**  
**ANA**

© 2016, 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>

Equipe:

#### **Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização**

Adriana Niemeyer Pires Ferreira (ANA)	Everton Luiz da Costa Souza (IAP-PR)	Angélica Haralampidou (IMASUL-MS)
Leonardo de Almeida (ANA)	Jurandir Boz Filho (IAP-PR)	Cleuza Gomes Viana (IMASUL-MS)
Ellen Bassan Beneduzzi (SEMA-RS)	Emílio Carlos Prandi (DAEE-SP)	Lilian Apoitia (SEMA-MT)
Rejane B. de Abreu e Silva (SEMA-RS)	Mara Akie Iritani (IG-SP)	Renato Blat Miglorini (UFMT-MT)
Edison Pereira de Lima (SDS-SC)	Maricene Menezes de O. Paixão (IGAM-MG)	Hugo T. Soares (SEMARH-GO)
Fabio Zadonai (SDS-SC)	Maria Goretti Hausman (IGAM-MG)	Diogo Lourenço Segatti (SEMARH-GO)

#### **Elaboração e Execução – Engecorps**

Marcos Oliveira Godoi – Diretor Técnico

Maria Bernadete Sousa Sender – Coordenação Geral

#### **Membros da Equipe Técnica Executora**

Flávio de Paula e Silva – Coordenador Técnico

Andresa Oliva	Ualfrido del Carlo Junior	Rafael Assad Luz
Marcia Regina Stradioto	Chang Hung Kiang	Marcos Alexandre Polzin
Gerardo Verolavsky	Osmar Sinelli	Eduardo Kohn
Flávio Almeida da Silva	Roger Dias Gonçalves	Milena Mariano dos Santos
Daniel Klein	Pedro Henrique D. Delmont	Francisco M. W. Tognoli
Christiane Spörl	Talita Filomena Silva	Alberto Manganelli
Aída Maria Pereira Andrezza	Henrique A. de A. Ramos	Ana Paula Ferrareze
Maria Luiza Granziera	Sibele Lima Dantas	Natalie Aubet

Todos os direitos reservados

Segundo Contrato nº 10/ANA/2012, Cláusula Terceira, Inciso II, item i) Segundo o Contrato é vedada a divulgação de informações a terceiros ou a realização de publicidade acerca do Contrato, salvo expressa autorização da CONTRATANTE;

<b>A265e</b>	Agência Nacional de Águas (Brasil). Estudo de vulnerabilidade natural à contaminação e estratégias de proteção do sistema Aquífero Guarani nas áreas de afloramento: Relatório Final – Tomo II / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2016.  182p.  1. Recursos Hídricos – Contaminação 2. Aquífero Guarani 3. Águas Subterrâneas - Gestão I. Título  <b>CDU 556.33</b>
--------------	--

---

## SUMÁRIO

---

### **TOMO I**

#### APRESENTAÇÃO

1. INTRODUÇÃO
2. ANTECEDENTES E JUSTIFICATIVAS
3. ATIVIDADES REALIZADAS
4. ESTUDOS EM ÁREAS DE AFLORAMENTO DO SAG EM ESCALA 1:250.000
5. ESTRATÉGIAS DE PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SAG
6. CONCLUSÕES
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### **TOMO II**

#### APRESENTAÇÃO

1. ESTUDOS EM ÁREAS DE AFLORAMENTO DO SAG NA ÁREA PILOTO DE SÃO GABRIEL DO OESTE (MS)
2. ESTRATÉGIAS DE PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SAG NA ÁREA PILOTO DE SÃO GABRIEL DO OESTE
3. CONCLUSÕES
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### **TOMO III**

#### APRESENTAÇÃO

1. ESTUDOS EM ÁREAS DE AFLORAMENTO DO SAG NA ÁREA PILOTO DE SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ (RS)
2. ESTRATÉGIAS DE PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SAG NA ÁREA PILOTO DE SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ
3. CONCLUSÕES
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### **TOMO IV**

1. PRINCIPAIS MAPAS TEMÁTICOS

**SUMÁRIO**  
**TOMO II**

PÁG.

<b>1.</b>	<b>ESTUDOS EM ÁREAS DE AFLORAMENTO DO SAG NA ÁREA PILOTO DE SÃO GABRIEL DO OESTE (MS).....</b>	<b>5</b>
1.1	MAPEAMENTO GEOLÓGICO .....	8
1.1.1	Unidades Litoestratigráficas da Área Piloto de São Gabriel do Oeste.....	10
1.1.2	Mapa Geológico da Área Piloto de São Gabriel do Oeste .....	19
1.1.3	Arcabouço Estrutural da Área Piloto de São Gabriel do Oeste.....	21
1.2	CADASTRO DE POÇOS .....	23
1.2.1	Consolidação de informações Preexistentes.....	23
1.2.2	Cadastro de novos poços .....	25
1.3	MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA .....	29
1.3.1	Metodologia do Mapeamento de Uso e Ocupação da Terra.....	29
1.3.2	Análise do Uso e Ocupação da Terra .....	33
1.4	CADASTRO DE FONTES POTENCIAIS DE CONTAMINAÇÃO .....	45
1.4.1	Fontes potenciais pontuais de contaminação .....	45
1.4.2	Fontes potenciais difusas de contaminação .....	56
1.5	HIDROQUÍMICA DO SAG NO PILOTO DE SÃO GABRIEL DO OESTE (MS).....	61
1.5.1	Resultados das análises hidroquímicas .....	63
1.5.2	Classificação das águas subterrâneas do SAG na área piloto de São Gabriel do Oeste .....	65
1.5.3	Parâmetros hidroquímicos acima dos Valores Máximos Permitidos .....	66
1.5.4	Parâmetros específicos .....	66
1.6	GEOFÍSICA NA ÁREA PILOTO DE SÃO GABRIEL DO OESTE (MS) .....	76
1.6.1	Método da Eletrorresistividade.....	76
1.6.2	Descrição das Atividades Realizadas .....	88
1.6.3	Intepretação dos Dados Geofísicos .....	92
1.6.4	Comentários sobre Geofísica .....	106
1.7	CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DE SUBSUPERFÍCIE .....	107
1.7.1	Mapas de Contorno Estrutural, Isópacas, Espessura e Profundidade.....	107
1.8	MAPEAMENTO HIDROGEOLÓGICO.....	115
1.8.1	Método para Elaboração do Mapa Hidrogeológico da Área Piloto de São Gabriel do Oeste ....	115
1.8.2	Mapa Hidrogeológico da Área Piloto de São Gabriel do Oeste .....	116
1.8.3	Modelo Conceitual de Fluxo Subterrâneo da Área Piloto de São Gabriel do Oeste .....	117
1.9	MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE NATURAL.....	121
1.9.1	Método para Elaboração do Mapa de Vulnerabilidade do SAG Aflorante da Área Piloto de São Gabriel do Oeste.....	122
1.9.2	Mapa de Vulnerabilidade do SAG Aflorante da Área Piloto de São Gabriel do Oeste.....	126
1.10	MAPEAMENTO DO PERIGO DE CONTAMINAÇÃO .....	128
1.10.1	Método para Elaboração do Mapa de Classificação de Fontes Pontuais de Contaminação do SAG na Área Piloto de São Gabriel do Oeste .....	129
1.10.2	Mapa de Classificação de Fontes Pontuais de Contaminação do SAG da Área Piloto de São Gabriel do Oeste.....	132

---

1.10.3	<i>Método para Elaboração do Mapa de Perigo de Contaminação do SAG por Fontes Difusas na Área Piloto de São Gabriel do Oeste</i> .....	133
1.10.4	<i>Mapa de Perigo de Contaminação do SAG por Fontes Difusas da Área Piloto de São Gabriel do Oeste</i> .....	136
<b>2.</b>	<b><i>ESTRATÉGIAS DE PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SAG NA ÁREA PILOTO DE SÃO GABRIEL DO OESTE</i></b> .....	<b>139</b>
2.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	139
2.2	GESTÃO INTEGRADA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, MEIO AMBIENTE E USO DA TERRA NO TERRITÓRIO DE ABRANGÊNCIA DO SAG AFLORANTE.....	139
2.2.1	<i>O Uso e Ocupação da Terra nas Áreas de Afloramento do SAG</i> .....	139
2.2.2	<i>Unidades de Conservação Municipais e a Proteção do SAG</i> .....	142
2.2.3	<i>Diretrizes para Controle da Contaminação das Águas Subterrâneas</i> .....	143
2.3	ÁREAS DE RESTRIÇÃO E CONTROLE.....	147
2.4	PROPOSIÇÃO DE ÁREAS DE PROTEÇÃO DE AQUÍFEROS.....	150
2.5	PERÍMETROS DE PROTEÇÃO DE POÇOS PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO .....	155
2.6	DIRETRIZES PARA ELABORAÇÃO DE NORMAS PARA PROTEÇÃO DO SAG NA ÁREA PILOTO DE SÃO GABRIEL DO OESTE .....	162
2.6.1	<i>Legislação do Estado de Mato Grosso do Sul (MS)</i> .....	162
2.6.2	<i>Diretrizes Propostas</i> .....	165
<b>3.</b>	<b><i>CONCLUSÕES</i></b> .....	<b>171</b>
<b>4.</b>	<b><i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i></b> .....	<b>175</b>



---

## **APRESENTAÇÃO**

O **Relatório Final** do Estudo de Vulnerabilidade Natural à Contaminação e Estratégias de Proteção do Sistema Aquífero Guarani nas Áreas de Afloramento apresenta os principais resultados dos trabalhos desenvolvidos no âmbito do Contrato Nº 10/ANA/2012, adjudicado pela Agência Nacional de Águas – ANA – à ENGEORPS ENGENHARIA S.A.

Trata da Consolidação dos estudos realizados, apresentados nos oito Relatórios Parciais definidos pelos Termos de Referência que orientaram o desenvolvimento dos trabalhos, além da Nota Técnica de Hidroquímica elaborada sobre esse tema específico.

O relatório está estruturado em 04 Tomos, sendo um para a apresentação geral dos resultados obtidos para a área de afloramento do SAG no Brasil, em escala regional envolvendo oito estados e dois tomos focados em resultados em escala maior de duas áreas piloto definidas anteriormente nos citados Termos de Referência. O quarto e último tomo mostra os principais resultados obtidos que podem ser representados em formato de mapas, tal como descrito a seguir:

- ✓ **TOMO I** – Resultados e Estratégias de Proteção do SAG nas áreas de afloramento obtidos a partir de estudos realizados na escala 1:250.000 nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais.
- ✓ **TOMO II** – Resultados e Estratégias de Proteção do SAG obtidos a partir de estudos realizados na escala 1:50.000 na área piloto de São Gabriel do Oeste – MS.
- ✓ **TOMO III** – Resultados e Estratégias de Proteção do SAG obtidos a partir de estudos realizados na escala 1:50.000 na área piloto de São Sebastião do Caí – RS.
- ✓ **TOMO IV** – Principais Mapas Temáticos.

O presente caderno constitui o Tomo II.

## **1. ESTUDOS EM ÁREAS DE AFLORAMENTO DO SAG NA ÁREA PILOTO DE SÃO GABRIEL DO OESTE (MS)**

O município de São Gabriel do Oeste situa-se na região centro-norte do Estado de Mato Grosso do Sul e possui área de 3.965 km<sup>2</sup>. A sede municipal localiza-se às margens da Rodovia BR-163, distando 135 km da capital Campo Grande (MS). Embora se apresente hoje como um dos mais importantes polos de desenvolvimento de Mato Grosso do Sul, a criação do município é muito recente, datando de 12 de maio de 1980. A área do piloto de São Gabriel do Oeste compreende um retângulo com cerca de 3.400 km<sup>2</sup> delimitado, aproximadamente, pelas coordenadas 54,86° e 54,04° a oeste de Greenwich e 19,07° e 19,43° do hemisfério sul, conforme mostrado na Figura 1.1.

O clima é do tipo tropical úmido, com índices de umidade variando de 20% a 40%. As temperaturas médias oscilam entre 20 °C e 24 °C. A precipitação anual varia entre 1.500 mm a 1.750 mm, o excedente hídrico anual de 800 mm a 1.200 mm e a deficiência hídrica anual de 350 mm a 500 mm.

Uma parte significativa da área do município (48%) assenta-se sobre unidade geomorfológica de chapadão, com altitudes da ordem de 700 metros, constituída por cobertura cenozoica com espessura variável de algumas dezenas de metros, de natureza detrítico-laterítica. O município encontra-se inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Paraguai, abrangendo as sub-bacias dos rios Taquari e Miranda que ocupam, respectivamente, 88,5% e 11,5% da área do município.

A região começou a ser ocupada em meados do século passado com o plantio de café. No entanto, esta atividade mostrou-se em pouco tempo imprópria, após uma forte geada que atingiu a região e provocou a morte da cafeicultura implantada. A partir deste evento, iniciou-se efetivamente o desenvolvimento do município com a atividade agrícola predominantemente de soja e o consequente emprego de agroquímicos, como fertilizantes, herbicidas e inseticidas.

A partir da última década, ocorreu novamente outra mudança na matriz geradora da economia da região, com a implantação da cadeia completa da suinocultura no município, compreendendo desde a criação dos leitões até a industrialização da carne, incluindo neste processo a produção do milho, insumo básico para a fabricação da ração. Hoje esta atividade representa mais de 50% da arrecadação municipal.

Visando atender as exigências modernas do mercado consumidor final, mais especificamente dos mercados exteriores, foi necessário adequar a cadeia produtiva da suinocultura com a sustentabilidade ambiental, que ganhou um incentivo adicional com a comercialização de créditos de carbono. Assim, as granjas de suínos passaram a instalar biodigestores para o tratamento de seus dejetos, com a consequente geração de bioenergia e o recebimento dos créditos de carbono. Hoje, São Gabriel do Oeste possui mais de 50 biodigestores em operação, sendo que algumas granjas são praticamente autossuficientes com relação aos seus consumos de energia.

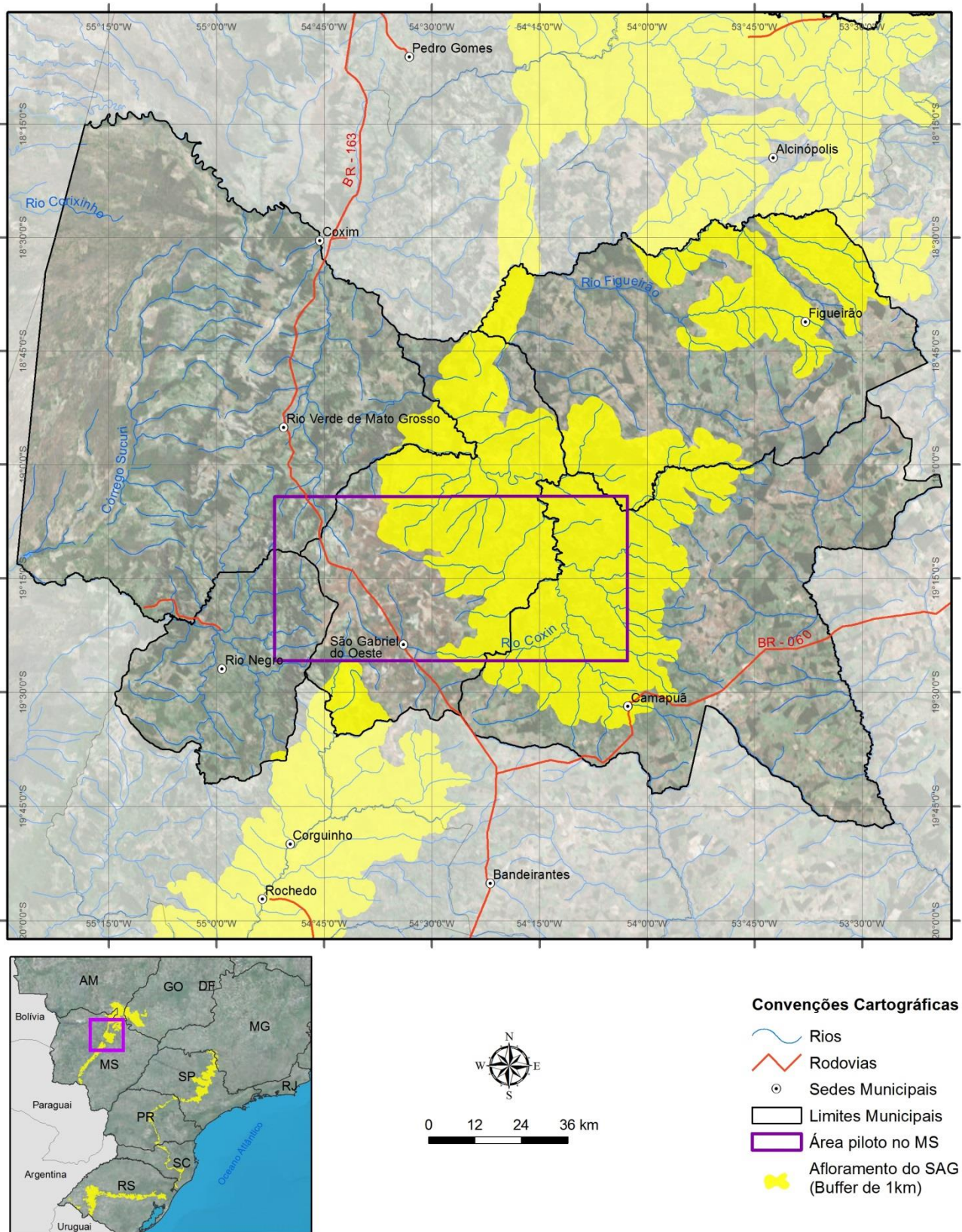


Figura 1.1 – Localização da área piloto de São Gabriel do Oeste.

O município de São Gabriel do Oeste possui um Sistema Autônomo de Águas e Esgoto (SAAE), que opera na sede municipal, no distrito de Areado e possui ainda um poço no centro comunitário no Projeto de Assentamento Campanário, totalizando 100% da captação a partir de mananciais subterrâneos, para uma população estimada de 23.000 habitantes. Poços tubulares de menor profundidade, em geral menor do que 50 metros, captam água do Aquífero Cenozoico, enquanto os poços de maior profundidade exploram o SAG.

Associando-se as características hidrogeológicas do município às potenciais fontes de contaminação difusa, provenientes do uso de agroquímicos e da fertirrigação, e levando-se em conta, ainda, que praticamente a totalidade da população urbana e rural, além das atividades agroindustriais, utiliza o manancial subterrâneo para o seu suprimento de água, é fundamental o conhecimento hidrogeológico e o monitoramento da qualidade das águas subterrâneas em São Gabriel do Oeste.

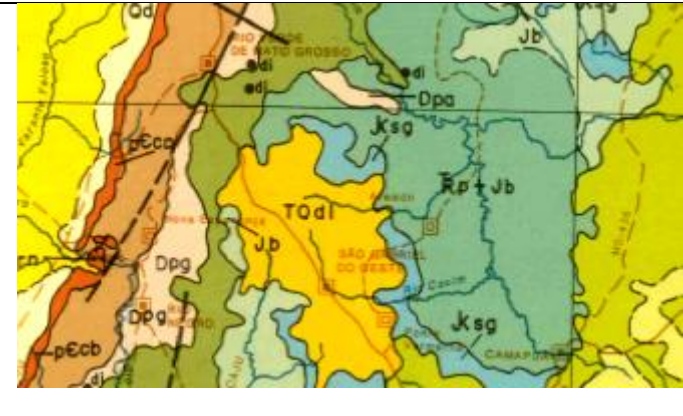
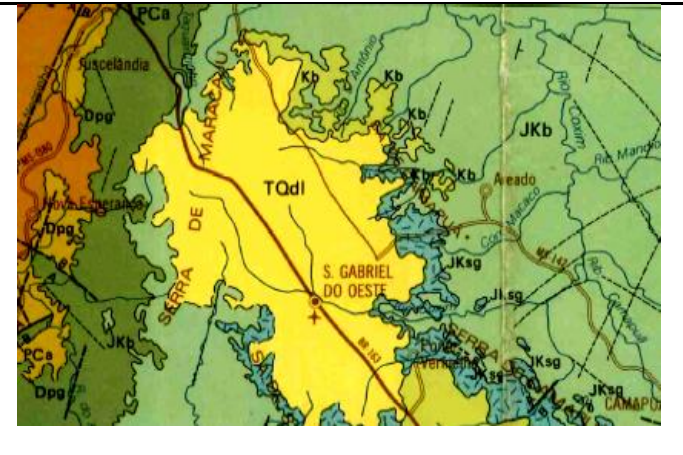
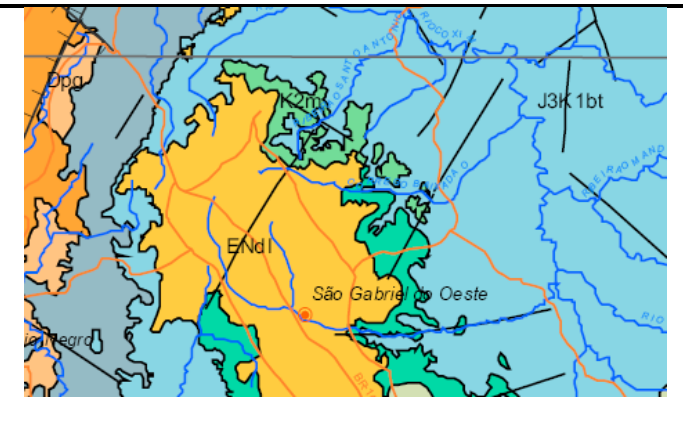
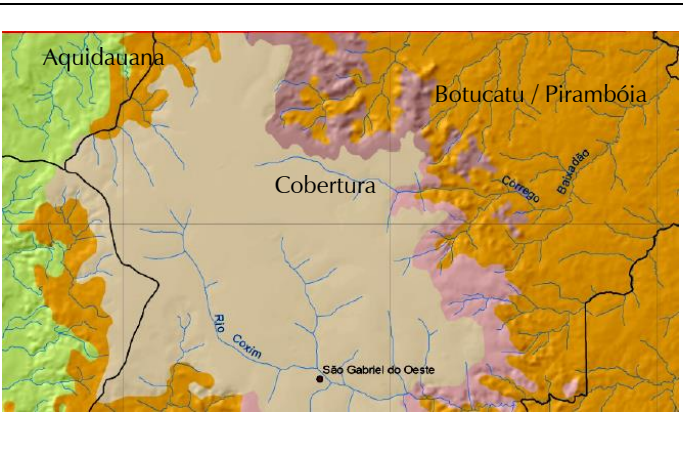
### **1.1 MAPEAMENTO GEOLÓGICO**

O levantamento geológico de campo na escala 1:50.000 da área piloto de São Gabriel do Oeste (MS) foi realizado no período de junho a setembro, e a finalização do mapa em formato digital ocorreu no início do mês de outubro de 2013.

Para o desenvolvimento desta atividade foram utilizadas, inicialmente, imagens de satélite (Landsat-5 e CBERS-2), fotografias aéreas na escala 1:60.000, dados de elevação de terreno gerados pelo *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) e cartas topográficas Rio Negro (Folha SE.21-Z-D-II) e Ponte Vermelha (Folha SE.21-Z-D-III), escala 1:100.000, na preparação das bases de apoio, sobre as quais foram delineados os limites das unidades litoestratigráficas.

Trabalhos prévios disponíveis para consulta foram os mapas geológicos da CPRM (1990, escala 1:500.000; 2001, Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo; 2006, escala 1:1.000.000) e do Projeto Radam (1982, Folha Corumbá, escala 1:1.000.000). Nos mapas geológicos antecedentes, em escala regional, as unidades Botucatu e Pirambóia não foram cartografadas separadamente, conforme mostrado na Figura 1.2.

Para cada uma das unidades litoestratigráficas identificadas em campo foi feita uma caracterização litológica (descrição das características texturais como granulometria, grau de seleção, morfologia dos grãos etc.), mineralógica, de cimentação, de matriz e de fácies sedimentares; definição da área de ocorrência e distribuição espacial; avaliação da espessura; determinação das relações de contato entre as unidades, quando possível; e inferências quanto ao ambiente deposicional das unidades. Obviamente, a ênfase foi colocada nas unidades componentes do SAG.

	<p><b>Mapa CPRM (escala: 1:500.000)</b> <b>Mato Grosso do Sul – 1990</b></p> <p><b>Unidades litoestratigráficas da área Piloto de SGO</b> <b>Cobertura terciária (TQdl)</b></p> <p>Serra Geral (JKsg) Botucatu (Jb) Botucatu/Pirambóia (indivisas) (TRp+Jb) Aquidauana (PCa) Ponta Grossa (Dpg)</p>
	<p><b>Mapa Projeto RADAM (escala: 1:1.000.000)</b> <b>Folha Corumbá - 1982</b></p> <p><b>Unidades litoestratigráficas da área Piloto de SGO</b></p> <p>Cobertura terciária (TQdl) Bauru (Kb) Serra Geral (JKsg) Botucatu (JKb) Aquidauana (PCa) Ponta Grossa (Dpg)</p>
	<p><b>Mapa CPRM (escala: 1:1.000.000)</b> <b>Mato Grosso do Sul – 2006</b></p> <p><b>Unidades litoestratigráficas da área Piloto de SGO</b> <b>Cobertura terciária (ENdl)</b></p> <p>Marília (K2m) Serra Geral (Ksg) Botucatu (J3K1bt) Aquidauana (C2P1a) Ponta Grossa (Dpg)</p>
	<p><b>Mapa CPRM (escala: 1:1.000.000)</b> <b>Mato Grosso do Sul – 2001</b></p> <p><b>Unidades litoestratigráficas da área Piloto de SGO</b></p> <p>Cobertura terciária Serra Geral Botucatu/Pirambóia (indivisos) Aquidauana</p>

**Figura 1.2 – Principais produtos cartográficos geológicos existentes na área do piloto de São Gabriel do Oeste e respectivas unidades litoestratigráficas mapeadas.**

Na área piloto de São Gabriel do Oeste, as unidades litoestratigráficas componentes do SAG são exclusivamente as formações Pirambóia e Botucatu, situação recorrente em todos os demais compartimentos, exceção ao compartimento sul, onde o SAG engloba outras unidades. Na escala de mapeamento (1:50.000), essas unidades apresentam feições litológicas características (texturas, cores, estruturas sedimentares, geometrias deposicionais) que permitem individualizá-las.

### **1.1.1 Unidades Litoestratigráficas da Área Piloto de São Gabriel do Oeste**

Foram identificadas e mapeadas na área do piloto de São Gabriel do Oeste as seguintes unidades litoestratigráficas, descritas a seguir.

#### **1.1.1.1 Formação Ponta Grossa**

A Formação Ponta Grossa caracteriza-se pela presença de folhelhos argilosos, micáceos, finamente laminados, cinzentos, com siltitos e arenitos muito finos subordinados. É comum, nesta porção da Bacia do Paraná, a presença de delgadas camadas de arenito muito fino intercalada na seção argilosa (Figura 1.3). Aflora a oeste dos limites da área piloto de São Gabriel do Oeste em altitudes da ordem de 400 metros e mergulha suavemente para o interior da Bacia do Paraná.

Sua espessura registrada no poço de Cassilândia (MS) (Petrobras) atingiu 1.200 metros, com diversas intrusões, quase atingindo 600 metros de diabásio; no poço de Jataí (GO) a perfuração atravessou somente cerca de 260 metros de seção relativamente arenosa correspondente a esta unidade.



**Figura 1.3 – Afloramento da Formação Ponta Grossa fora dos limites da área piloto de São Gabriel do Oeste (Ponto 175).**

### 1.1.1.2 Formação Aquidauana

Na área do piloto de São Gabriel do Oeste, a Formação Aquidauana comporta litologias que correspondem, em parte, à sedimentação em condições litorâneas a marinhas rasas e de barras arenosas amalgamadas, com forte retrabalhamento do topo e presença de ôndulas de oscilação. Somam-se a estas, litologias com características fluviais e litologias de ambientes transicionais, além de depósitos de fluxo gravitacional materializados pela presença de diamictitos arenosos, grossos, que denotam a influência glacial típica da unidade. Em outros levantamentos geológicos realizados na área, esta unidade foi confundida com a Formação Botucatu (Figura 1.4). Poços perfurados para exploração de hidrocarbonetos (BDEP/ANP) registraram espessuras da Formação Aquidauana superiores a 800 metros em Cassilândia (MS) e Jataí (GO).

### 1.1.1.3 Formação Estrada Nova

Dentre os resultados revelados pelo mapeamento geológico, foi reconhecida pela primeira vez a presença da Formação Estrada Nova (Permiano Superior) em afloramentos na região de São Gabriel do Oeste, com litologias características compreendendo siltitos e arenitos arroxeados a cinzas, esverdeados, e estruturas dos tipos *hummocky*, ôndulas e *swaley*, típicas de ambiente marinho, além de forte bioturbação (Figura 1.5). Esta unidade está restrita a uma faixa de afloramentos na porção oeste da área, apoiada em discordância sobre a Formação Aquidauana. Estas relações também são reconhecidas nos estados de Mato Grosso e Goiás, assim como em poços profundos perfurados para exploração de hidrocarbonetos (BDEP/ANP) na Bacia do Paraná.

Esta unidade ou unidades correlatas comparecem em subsuperfície em poços perfurados para exploração de hidrocarbonetos. No poço de Jataí (GO) apresenta espessura de cerca de 160 metros (incluindo intrusão de diabásio com 20 metros) e de 330 metros no poço de Cassilândia (MS).

### 1.1.1.4 Formação Pirambóia

A Formação Pirambóia é constituída de arenitos finos a médios, bem selecionados, de cores esbranquiçadas, avermelhadas e amareladas, grãos arredondados, com estratificações cruzadas tangencial e acanalada, com intercalações de arenitos finos com estratificação plano-paralela a sub-horizontal, maciços e, por vezes, entremeada por finas camadas de siltitos e argilitos. Ocasionalmente, as camadas pelíticas apresentam evidências de bioturbação e de paleossolos associados com forte silicificação (silcretos laminados) e brechas de silixitos. Os arenitos apresentam, localmente, matriz caulínica (Figura 1.6 e Figura 1.7).

Os sedimentos da Formação Pirambóia foram depositados por interação de processos fluviais, em rios de canais rasos e planícies arenosas, e de processos eólicos com formação de dunas, lençóis de areia e interdunas.



**Figura 1.4 – Formação Aquidauana na área piloto de São Gabriel do Oeste.**



**Figura 1.5 – Formação Estrada Nova na área piloto de São Gabriel do Oeste.**





*Estratificações cruzadas acanaladas em arenitos róseos e esbranquiçados da Formação Pirambóia. Ponto 143.*



*Arenitos avermelhados e esbranquiçados com estratificações horizontais e bioturbação. Ponto 161.*



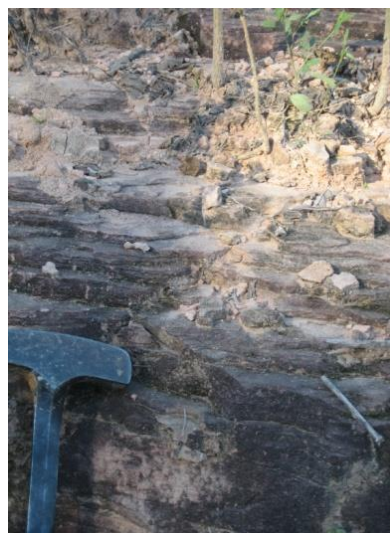
*Camadas horizontais de arenitos maciços com níveis de sílexitos no topo e cruzadas de grande porte na base. Ponto 167.*



*Camadas com níveis de sílexitos associados aos arenitos da Formação Pirambóia (intercalados aos arenitos finos com laminação horizontal). Ponto MS-39.*



*Arenitos brancos e esbranquiçados com estratificações horizontais e lentes de areia com cruzadas acanaladas. Ponto 150.*



*Arenitos brancos a esbranquiçados, quartzosos, com laminação sub-horizontal e ondulas no topo. Ponto 151.*

*Figura 1.6 – Formação Pirambóia na área piloto de São Gabriel do Oeste.*



*Níveis de silcretes laminares associados à Formação Pirambóia, muito próximo da passagem para os arenitos com grandes estratificações cruzadas da Formação Botucatu. Próximo ao Ponto 166.*



*Detalhe de silcretes laminares associados aos arenitos da Formação Pirambóia. Próximo ao Ponto 166.*



*Arenitos róseos e esbranquiçados, maciços e com estratificações cruzadas acanaladas. Ponto MS-21.*



*Arenitos brancos e avermelhados com estratificação cruzada e horizontal, com intercalações de lentes arenosas com seixos. Ponto MS-21.*

**Figura 1.7 – Formação Pirambóia na área piloto de São Gabriel do Oeste.**

As relações estratigráficas com as unidades adjacentes sugerem, no topo, discordância com a Formação Botucatu, evidenciada pela presença de paleossolos (silcretes e bioturbações) e de notável mudança textural quando comparada com a unidade sobreposta. Não é possível observar as relações estratigráficas com as unidades basais na área piloto, todavia, dados de poços profundos perfurados para exploração de hidrocarbonetos na Bacia do Paraná

(BDEP/ANP) atestam contato discordante com as unidades mais antigas, como Estrada Nova e Aquidauana.

O contato basal desta unidade não é visível na área piloto de São Gabriel do Oeste, fato que impossibilita uma estimativa consistente da espessura. Todavia, com base em observações regionais, foi feita uma estimativa mínima de 80 metros para a Formação Pirambóia.

Dados de poços perfurados na área piloto de São Gabriel registram até mais de 150 metros de espessura para o conjunto Pirambóia e Botucatu. Dados de poços perfurados para exploração de hidrocarbonetos (BDEP/ANP) registram cerca de 150 metros em Jataí (GO) e 400 metros em Cassilândia (MS).

#### *1.1.1.5 Formação Botucatu*

Os sedimentos da Formação Botucatu representam depósitos eólicos originados pela migração e preservação de grandes dunas, depositados em clima árido. Esta unidade é constituída principalmente por arenitos quartzosos de granulção fina a média, de coloração vermelha, rósea ou amarelo clara, bem selecionados, maduros (arredondados e com boa esfericidade), apenas localmente feldspáticos, muitas vezes com marcante bimodalidade de grãos. A estrutura sedimentar característica é a estratificação cruzada tangencial de grande porte e, subordinadamente, cruzadas de médio porte, podendo ocorrer ainda estratificações horizontais e sub-horizontais (Figura 1.8).

Nos levantamentos de campo não foi possível observar os contatos basal e de topo da unidade em uma mesma faixa contínua de afloramentos, impedindo uma estimativa consistente da espessura. Todavia, com base em observações regionais, foi feita uma estimativa mínima de 50 metros para a Formação Botucatu na área do piloto de São Gabriel do Oeste. As relações estratigráficas desta unidade com as unidades contíguas mostram, no topo, contemporaneidade com os derrames basálticos, corroborada pelos intertrapes da Formação Serra Geral, e possíveis relações de discordância com a Formação Pirambóia, na base.

#### *1.1.1.6 Formação Serra Geral*

A Formação Serra Geral compreende um conjunto de derrames de rochas basálticas do Cretáceo Inferior (Figura 1.9). Os derrames ocorrem em uma faixa restrita a bordo leste do chapadão do São Gabriel do Oeste, não tendo sido identificados nas regiões noroeste e oeste do mesmo.



*Arenitos finos e médios, bem selecionados e com estratificações cruzadas de grande porte da Fm. Botucatu. Ponto 120.*



*Cobertura areno-conglomerática apoiada sobre os arenitos com estratificações cruzadas de grande porte da Fm. Botucatu. Paleocorrentes para W. Ponto 115.*



*Grandes sets de arenitos com estratificações cruzadas de grande porte e marcada bimodalidade de grãos. Ponto 127.*



*Camadas de arenitos eólicos da Formação Botucatu. Ponto 127.*



*Arenitos silicificados da Formação Botucatu. Ponto 171.*



*Arenitos da Formação Botucatu com dunas que migraram em diferentes direções. Ponto 172.*

*Figura 1.8 – Formação Botucatu na área piloto de São Gabriel do Oeste.*



*Figura 1.9 – Formação Serra Geral na área piloto de São Gabriel do Oeste.*

Os basaltos apresentam cores cinza esverdeadas a pretas, textura afanítica a microporfírica e estruturas maciça a fraturada. No topo dos derrames é comum a ocorrência de vesículas e amígdalas preenchidas por sílica, calcita e zeólitas.

Na área nordeste do chapadão de São Gabriel do Oeste é comum a presença de arenitos finos silicificados (intertrapes) associados e intercalados aos derrames de basaltos. Segundo observações realizadas em campo, esta unidade apresenta espessuras da ordem de 15 a 20 metros, mas pode alcançar uma espessura maior na região sul. Dados de poços perfurados no município apresentam, todavia, espessuras variáveis que alcançam até 50 metros, havendo um único registro, no limite sul do município, indicando uma espessura de 234 metros de basaltos.

#### *1.1.1.7 Cobertura detrito-laterítica terciária*

A cobertura detrito-laterítica terciária é constituída por dois litotipos principais. O primeiro litotipo é constituído por uma cobertura detrítica formada por areias avermelhadas, brancas, amarelas e ocre, intercaladas tanto com níveis conglomeráticos quanto com outros corpos de arenitos laterizados e ferruginosos, além de cascalheiras e argilas. A componente arenosa é predominante, principalmente quando há contribuição dos arenitos paleozoicos e mesozoicos circundantes, mas também é possível a presença de argilas derivadas do intemperismo dos basaltos da Formação Serra Geral. Localmente, esses sedimentos apresentam cimentação ferruginosa.

O segundo litotipo é constituído de cobertura laterítica autóctone com carapaças ferruginosas e, em geral, com matriz composta por hematita, goethita e caulinita. Em zonas porosas e friáveis notam-se indícios de circulação vertical de água e remobilização de ferro.

Esta cobertura recobre sedimentos das formações Aquidauana, Estrada Nova, Serra Geral e Botucatu, e apresenta espessuras médias da ordem de 20 a 30 metros, mas pode alcançar até mais de 50 metros em alguns setores do piloto. A Figura 1.10 exemplifica ocorrências dessa cobertura na área piloto de São Gabriel do Oeste.



*Detalhe da cobertura detrítica sobre a Formação Aquidauna. Ponto 177.*



*Coureira laterítica apoiada sobre arenitos e siltitos da cobertura detrítica. Ponto MS-13.*



*Cobertura arenosa fina a média, quartzo – feldspática, inconsolidadas, desenvolvida sobre os arenitos da Fm. Botucatu. Ponto 115.*



*Pedreira na área do chapadão de São Gabriel do Oeste, onde aflora a cobertura laterítica sobre basaltos. Ponto MS-24.*



*Cobertura laterítica com camada de lateritos e arenitos com concreções ferruginosas, e cimentação ferruginosa. Ponto MS-33.*



*Pedreira de lateritos e arenitos ferruginosos no chapadão de São Gabriel do Oeste. Ponto MS-35.*

*Figura 1.10 – Cobertura detrito-laterítica terciária da área piloto de São Gabriel do Oeste.*

### 1.1.1.8 Depósitos quaternários arenosos

Trata-se de depósitos de areias finas a médias, quartzosas, esbranquiçadas a ocre, maciças e às vezes com estratificação horizontal, ocasionais lentes de areias conglomeráticas e localmente síltico-argilosas, inconsolidadas a levemente consolidadas, que se desenvolvem sobre as unidades Pirambóia e Botucatu. Os depósitos quaternários tiveram sua origem no retrabalhamento de sedimentos associados a superfícies de aplainamento e formam delgados terraços. Embora também identificados na porção sudeste da área piloto, estes depósitos não foram distinguidos da unidade Botucatu em razão de sua delgada espessura.

### 1.1.1.9 Depósitos fluviais atuais

Os depósitos fluviais atuais representam sedimentos aluviais que preenchem as calhas dos rios e suas planícies de inundação. Trata-se de materiais inconsolidados, representados por cascalhos, areias grossas a finas e sedimentos síltico-argilosos, mal selecionados. Localmente, em porções mais elevadas associadas às encostas da área do chapadão, ocorrem areias mal selecionadas com presença de seixos de arenitos e de basaltos. Os depósitos fluviais atuais mais importantes estão associados ao curso do rio Coxim.

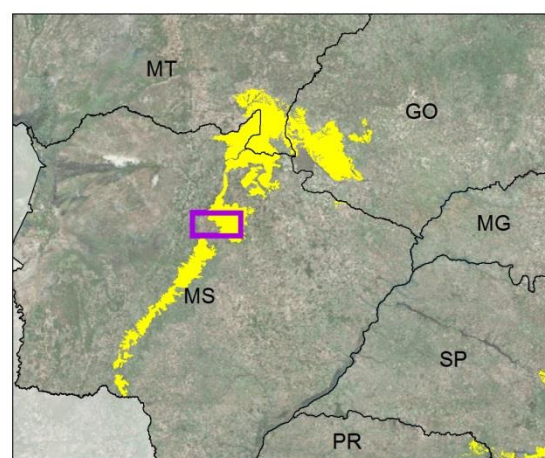
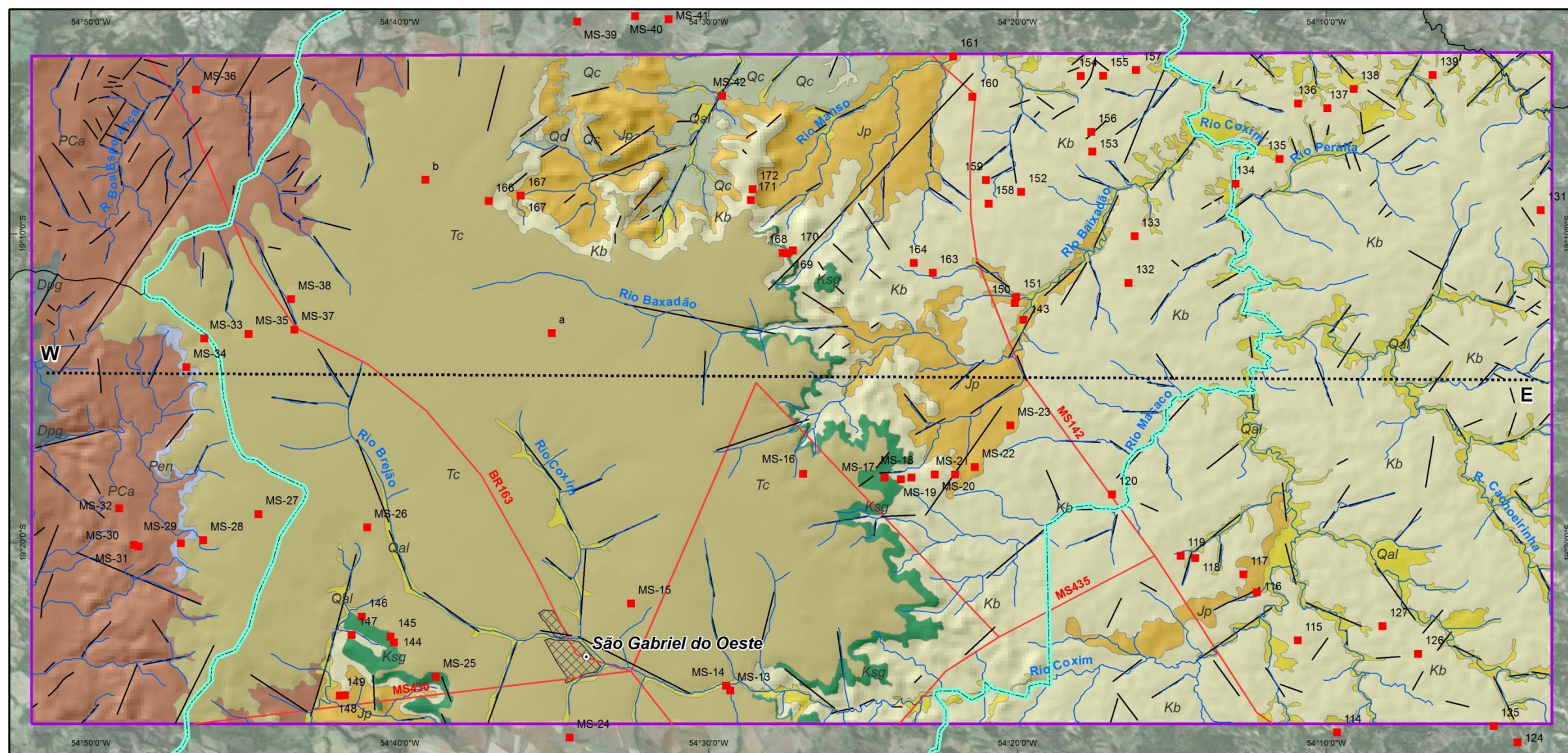
## 1.1.2 Mapa Geológico da Área Piloto de São Gabriel do Oeste

A coluna estratigráfica adotada para o SAG neste trabalho (Figura 1.11) foi elaborada com base nos estudos apresentados no Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani (PSAG) e em trabalho de Soares *et al.* (2008).

<b>IDADES</b>	<b>UNIDADES LITOESTRÁTIGRÁFICAS</b>		<b>UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS</b>
Tércio-Quaternário	GO, MT, MS, MG, SP, PR E SC	RS	Aquíferos e Depósitos Tércio-Quaternários e Atuais
	Formação Cachoeirinha Coberturas Diversas	Coberturas Diversas	
Cretáceo	Grupo Bauru		Sistema Aquífero Bauru-Caiuá - SABC
	Formação Serra Geral		Sistema Aquífero Serra Geral (SASG)
Jurássico	Formação Botucatu		Sistema Aquífero Guarani (SAG)
Triássico	Formação Pirambóia	Formação Guará Formação Caturrita Formação Santa Maria	
		Formação Sanga do Cabral	
Permiano Superior	Formação Corumbataí* Formação Teresina*	Formação Estrada Nova* Formação Rio do Rasto*	Aquífero Passa Dois (APD)
	Grupo Tubarão		Sistema Aquífero Tubarão (SAT)
Carbonífero Superior	Grupo Aquidauana		Sistema Aquífero Aquidauana (SAA)
Devoniano	Formação Ponta Grossa		Aquitarde Ponta Grossa (APG)

\* As Formações Rio do Rasto, Corumbataí, Estrada Nova e Teresina estão reunidas no Grupo Passa Dois, que será designado como uma unidade, a princípio, indivisível no Mapa Hidrogeológico produzido no âmbito deste Estudo.

**Figura 1.11 – Quadro estratigráfico adotado para o SAG.**



Localização da área piloto no estado de Mato Grosso do Sul

**Convenções cartográficas**

- Rios
- Rodovias
- Sedes Municipais
- Limites Municipais
- Área piloto no MS
- Sede - São Gabriel do Oeste
- Município de São Gabriel do Oeste

**Geologia**

- Pontos de Controle de Afloramento
  - Seção geológica
  - Lineamentos
- Litoestratigrafia**
- Depósitos aluvionares (Qal)
  - Coberturas quaternárias (Qc)
  - Coberturas terciárias (Tc)
  - Formação Serra Geral (Ksg)
  - Formação Botucatu (Kb)
  - Formação Pirambóia (Jp)
  - Formação Estrada Nova (Pen)
  - Formação Ponta Grossa (Dpg)
  - Grupo Aquidauana (PCa)



0 2,4 4,8 7,2 km  
Escala Numérica = 1:240.000

Figura 1.12 – Mapa geológico da área piloto de São Gabriel do Oeste (escala 1:50.000).



### 1.1.3 *Arcabouço Estrutural da Área Piloto de São Gabriel do Oeste*

Os limites do SAG são definidos por faixas de afloramento de rochas constituintes do aquífero, cuja espessura foi reduzida significativamente por processos erosivos, associados ou não a fenômenos estruturais. Na faixa de afloramentos dos estados de Mato Grosso do Sul, Goiás e Mato Grosso estes limites estão condicionados pelo levantamento generalizado do bordo cratônico, associado à dinâmica do Arco de Assunção (Gastmans *et al.*, 2012).

Ao longo de sua história evolutiva, a Bacia do Paraná deixou registros rochosos preservados correspondentes a cinco sequências deposicionais principais, com idades que variam do Ordoviciano ao Cretáceo, correlacionáveis com eventos tectônicos e magmáticos que afetaram a América do Sul durante o Fanerozoico. Pequenos domos, *horsts*, *grabens* e falhas lítricas reversas são conhecidos na bacia e, para grande parte dos estudiosos, estas estruturas podem estar relacionadas a corpos ígneos intrusivos em subsuperfície ou à reativação de zonas de falhas (Zalán *et al.*, 1990). Fúlfaro *et al.* (1980) já haviam reconhecido estas causas na formação de estruturas locais.

As sequências mesozoicas, estritamente continentais, abarcam as deposições triássica (formações Santa Maria, Guará e Pirambóia) e jurocretácea (Formação Botucatu), nas quais se inserem os sedimentos constituintes do SAG. A partir do Cretáceo Inferior, a sequência mesozoica foi coberta por derrames de lavas basálticas que marcaram importante período de subsidência e estruturação da bacia. Os depósitos pós-lava do Cretáceo Superior e do Terciário mostram que a evolução estrutural da bacia perdurou. O gradual soerguimento das regiões limítrofes do aquífero expôs as formações à erosão e conseqüente adelgaçamento.

O mapeamento geológico da área piloto de São Gabriel do Oeste confirmou estudos realizados anteriormente, confirmando o alçamento do bordo oeste da bacia conjugado a pequeno basculamento para o interior, refletido no próprio relevo da área. Este relevo se mostra atenuado pela presença dos sedimentos lateríticos e arenitos ferruginosos cenozoicos que cobrem a região da chapada de São Gabriel do Oeste. Esta estrutura teria se originado pelo soerguimento da borda oeste da bacia e basculamento das camadas paleozoicas e mesozoicas para leste. No bordo oeste da chapada de São Gabriel do Oeste afloram sedimentos paleozoicos das formações Aquidauana e Estrada Nova em cotas altimétricas da ordem de 600 metros que, ao contrário, não são observadas no bordo leste do platô, em cota altimétricas inferiores a 450 metros. No bordo oeste também não afloram formações constituintes do SAG (Botucatu e Pirambóia).

Uma explicação para a conformação estrutural das unidades litoestratigráficas mapeadas na área piloto de São Gabriel do Oeste pode ser dada considerando a possibilidade de basculamento das camadas associado a falhas normais, de pequeno a médio rejeito, como esquematizado na Figura 1.13. Nesta concepção, as eventuais falhas de grande porte são apenas inferidas, pois não foram constatadas de fato em campo.

Outra interpretação factível para a explicação da configuração estrutural da área piloto de São Gabriel do Oeste é apresentada na Figura 1.14. A inclinação da estrutura homoclinal na

direção do eixo da bacia (Leste) é inferior a  $0,4^\circ$ , ou seja, algo em torno de 6,9 m/km, suficiente para justificar a conformação estrutural das unidades litoestratigráficas sem a concorrência de falhas de grande porte. Salienta-se que o mergulho dessas camadas é inferior ao mergulho estrutural da bacia, da ordem de  $2^\circ$  como atestado em poços para exploração de hidrocarbonetos (BDEP/ANP). Esta configuração estrutural foi adotada para a seção geológica esquemática W-E da área piloto de São Gabriel do Oeste, apresentada na Figura 1.14.

A carência de informações de subsuperfície, como por exemplo, perfis geofísicos, dificulta o entendimento do arcabouço estrutural da área.

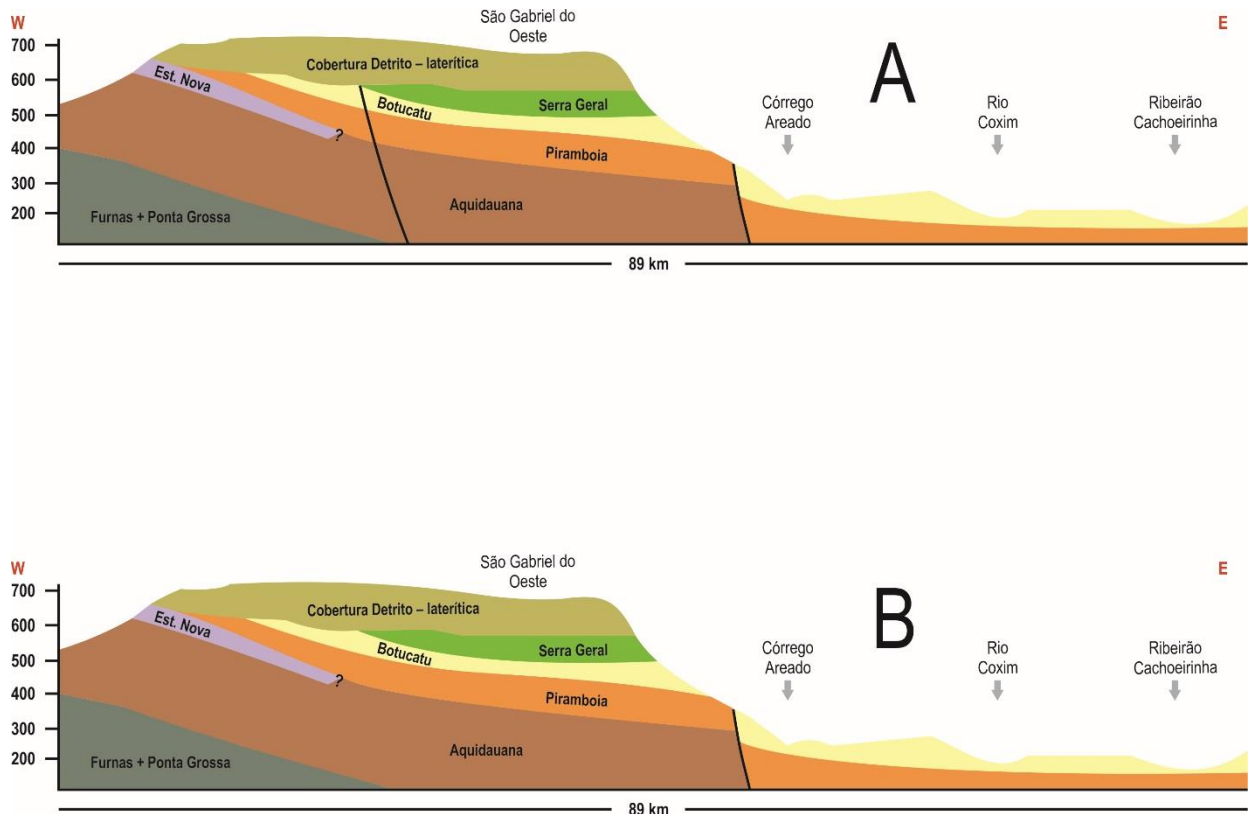


Figura 1.13 – Cortes geológicos esquemáticos W-E configurando duas hipóteses (A e B) para explicar o arcabouço estrutural da área do piloto de São Gabriel do Oeste.

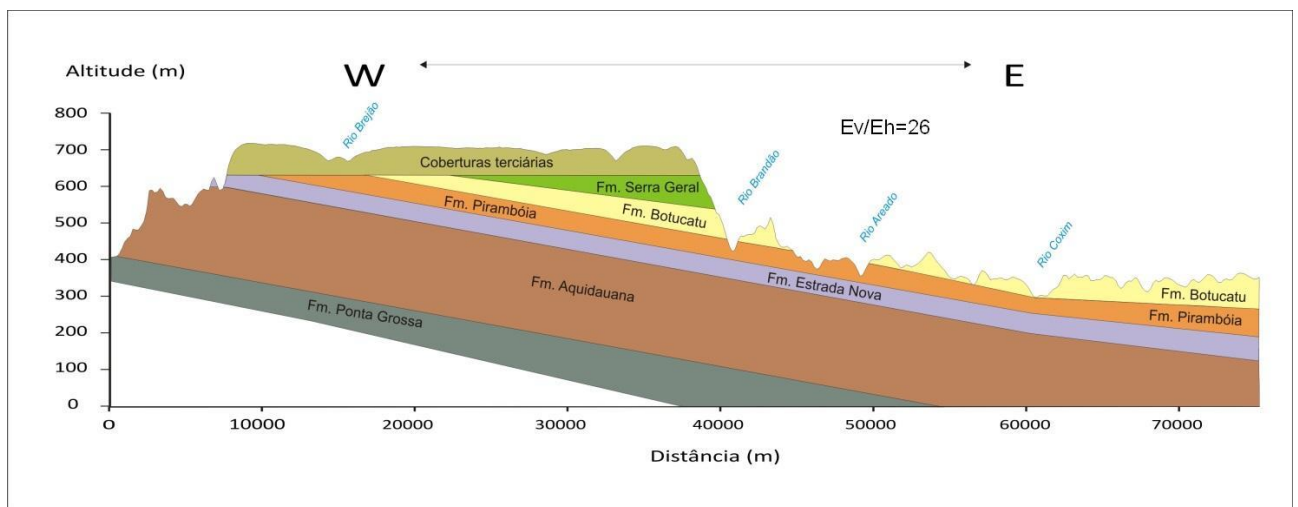


Figura 1.14 – Seção geológica esquemática W-E mostrando uma interpretação da configuração estrutural da área do piloto de São Gabriel do Oeste, sem a concorrência de falhas.

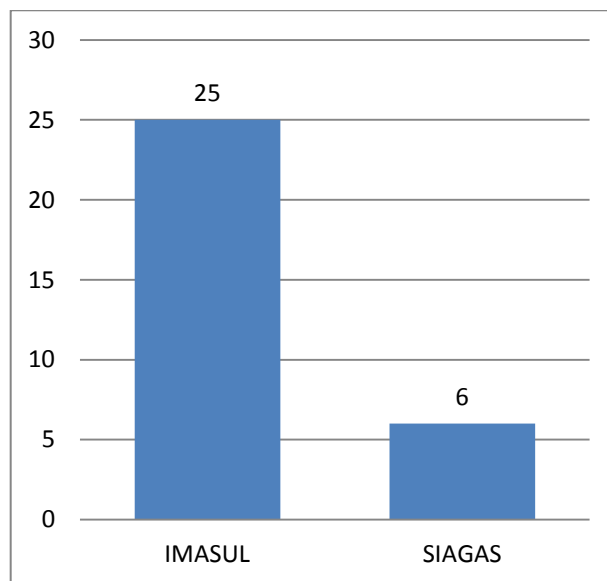
**1.2 CADASTRO DE POÇOS**

**1.2.1 Consolidação de informações Preexistentes**

No que se refere à área piloto de São Gabriel do Oeste, foram levantados 31 poços previamente cadastrados em órgãos e empresas estatais e privadas de saneamento, com o objetivo de selecionar poços para compor uma rede de amostragem de caracterização hidroquímica e para obtenção de informações necessárias à elaboração dos mapas de vulnerabilidade dos estados.

Os poços são oriundos do IMASUL - Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul e do SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas do Serviço Geológico do Brasil - CPRM. A Figura 1.15 mostra a distribuição dos poços cadastrados por fonte de consulta. A distribuição espacial (por município) desses poços está apresentada na Figura 1.16.

Dos 31 poços previamente levantados, a maioria (22 poços) encontra-se em São Gabriel do Oeste, seguido dos municípios de Camapuã (6 poços), Rio Verde de Mato Grosso (2) e Rio Negro (1).



*Figura 1.15 – Número de poços cadastrados por fonte de informação*

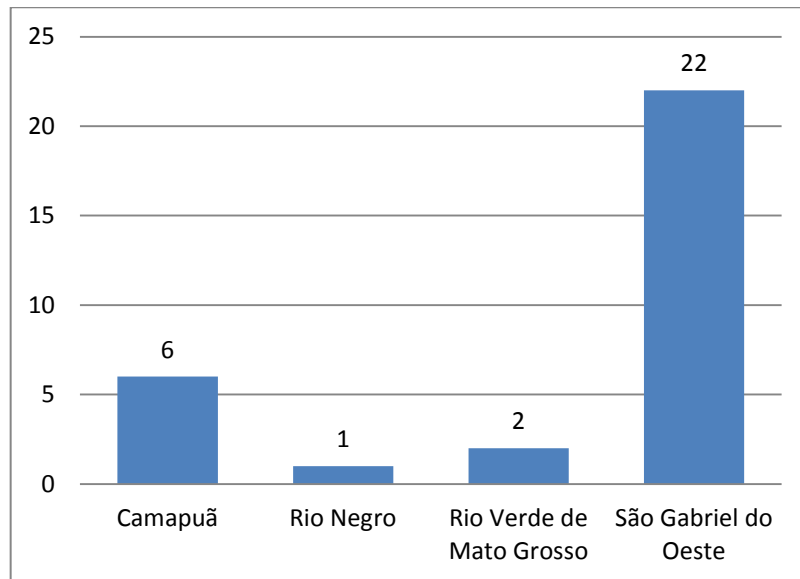


Figura 1.16 – Número de poços previamente cadastrados por município.

Do total previamente cadastrado, 4 poços possuem perfil estratigráfico, todos eles localizados em São Gabriel do Oeste. Da mesma forma, estes 4 poços possuem informações com relação às características hidrodinâmicas, tendo os dados de nível estático, nível dinâmico e vazão.

Dentre os 31 poços previamente cadastrados 15 foram validados em campo, sendo 10 poços em São Gabriel do Oeste, 3 em Camapuã, 1 em Rio Negro e 1 em Rio Verde de Mato Grosso, conforme mostrado na Figura 1.17.

Considerando apenas a área de afloramento do SAG na área piloto, foram identificados 11 poços preexistentes validados em campo, sendo 8 em São Gabriel do Oeste e 3 em Camapuã.

Dentre os 11 poços preexistentes validados em campo e inseridos nas áreas de afloramento do SAG, apenas 1 possui perfil litoestratigráfico disponível, localizado em São Gabriel do Oeste.

Esse número relativamente reduzido de poços com perfis frente ao total de poços preexistentes validados ocorre porque os usuários de águas subterrâneas captadas por meio poços normalmente não exigem o relatório de perfuração, que por sua vez, deve conter o perfil litoestratigráfico. Tal realidade se reproduz nas demais áreas estudadas no presente estudo.

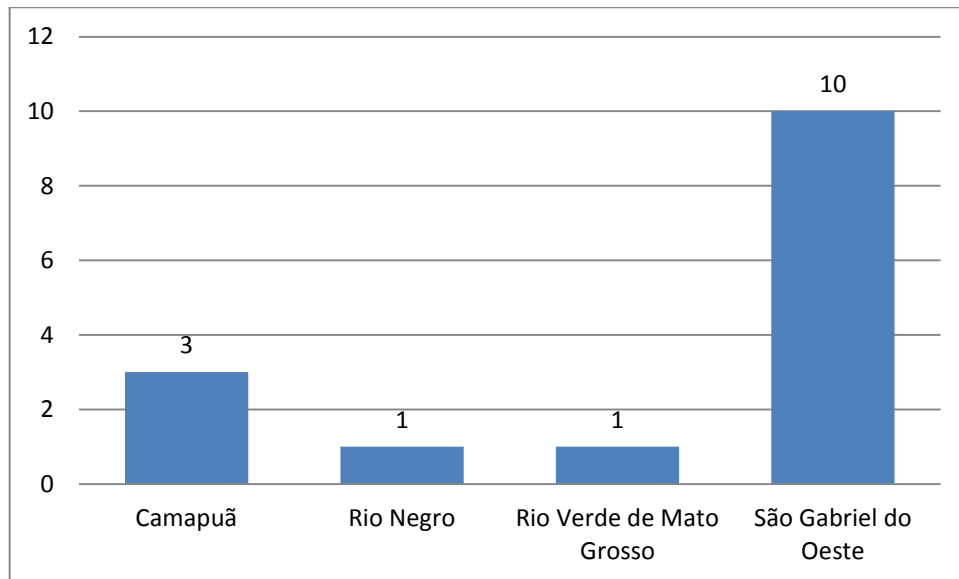


Figura 1.17 – Número de poços validados por município.

### 1.2.2 Cadastro de novos poços

O objetivo do cadastramento de novos poços, além do conhecimento da demanda por águas subterrâneas, também era gerar informações para a elaboração do mapeamento da vulnerabilidade e risco à contaminação.

O método de cadastramento de poços foi dividido em 3 etapas principais:

- ✓ Atividades pré-campo, que consistiram na organização das equipes de cadastramento, programação de serviços, instruções para preenchimento dos dados cadastrais nas fichas de poços, reuniões preliminares para esclarecer dúvidas, orientações sobre o escopo do projeto e logística;
- ✓ Atividades de campo, consistindo no levantamento propriamente dito de novos poços;
- ✓ Atividades de escritório, consistindo na organização e sistematização dos dados obtidos em campo.

As equipes de campo foram treinadas de modo a padronizar a abordagem junto aos proprietários de poços e conseguir o maior número de informações possíveis. A definição das campanhas de campo teve por base a elaboração de rotas de acesso e na densidade de informações preexistentes. As equipes de campo foram munidas de GPS portátil, máquina fotográfica e notebook.

Visitas às prefeituras, serviços municipais de água e perfuradores regionais consistiram uma das principais atividades de campo. A partir de contatos preliminares, foram agendadas visitas aos poços, com acompanhamento dos respectivos responsáveis.

O fluxograma das informações obtidas em campo consistiu da localização do poço com auxílio de GPS, preenchimento das fichas cadastrais em papel, registro fotográfico das captações,

elaboração de arquivos digitais e envio de dados via FTP para o escritório da Engecorps. Tanto a Ficha Cadastral Digital quanto as fotos foram renomeadas com a identificação do poço e inseridas em uma pasta com a mesma identificação.

Após as visitas de campo, foram feitos contatos telefônicos ou via e-mail com os proprietários de poços a fim de se obter documentos como relatórios de perfuração etc., porém sem sucesso.

Na área piloto de São Gabriel do Oeste foram cadastrados 15 novos poços, todos localizados no município de São Gabriel do Oeste.

A análise do conjunto de poços novos cadastrados indica predomínio de poços do tipo tubular (9 poços). Estes 9 poços estão equipados com sistema de bombeamento e estão em operação, operando com bomba submersa, o que permite coleta de amostra de água para análises. Os proprietários destes 9 poços não manifestaram desaprovação quanto à coleta de amostra de água.

Destaca-se que não foi possível obter perfil estratigráfico de nenhum destes poços.

Em termos construtivos, o conjunto de poços cadastrados apresenta as seguintes características: 6 possuem cimentação, 15 possuem indicação de profundidade e 9 são revestidos. Em termos de características hidrodinâmicas, 2 poços apresentam dados de nível estático, 2 de nível dinâmico e 2 de vazão.

Verifica-se que a qualidade das informações obtidas é precária e incompleta, na grande maioria obtida de forma verbal, durante entrevista com o usuário. Os usuários não dispõem de relatórios, perfis construtivos e litológicos, testes de bombeamento, documentos de outorga etc. Como agravante, grande parte dos poços não possui os pré-requisitos construtivos desejáveis para ser inserida numa rede de monitoramento qualitativa, como por exemplo, cimentação e laje de proteção sanitária (Figura 1.18).

Após a conclusão do mapeamento geológico, verificou-se que dos 15 novos poços cadastrados, apenas 1 encontra-se inserido na área de afloramento do SAG. A Figura 1.19 apresenta a distribuição dos 11 poços preexistentes e 1 poço novo cadastrados no projeto, inseridos nas áreas de afloramento do SAG.



*Figura 1.18 – Exemplo de poço cadastrado na área de São Gabriel do Oeste, sem proteção sanitária (laje de proteção e cimentação do espaço anular).*

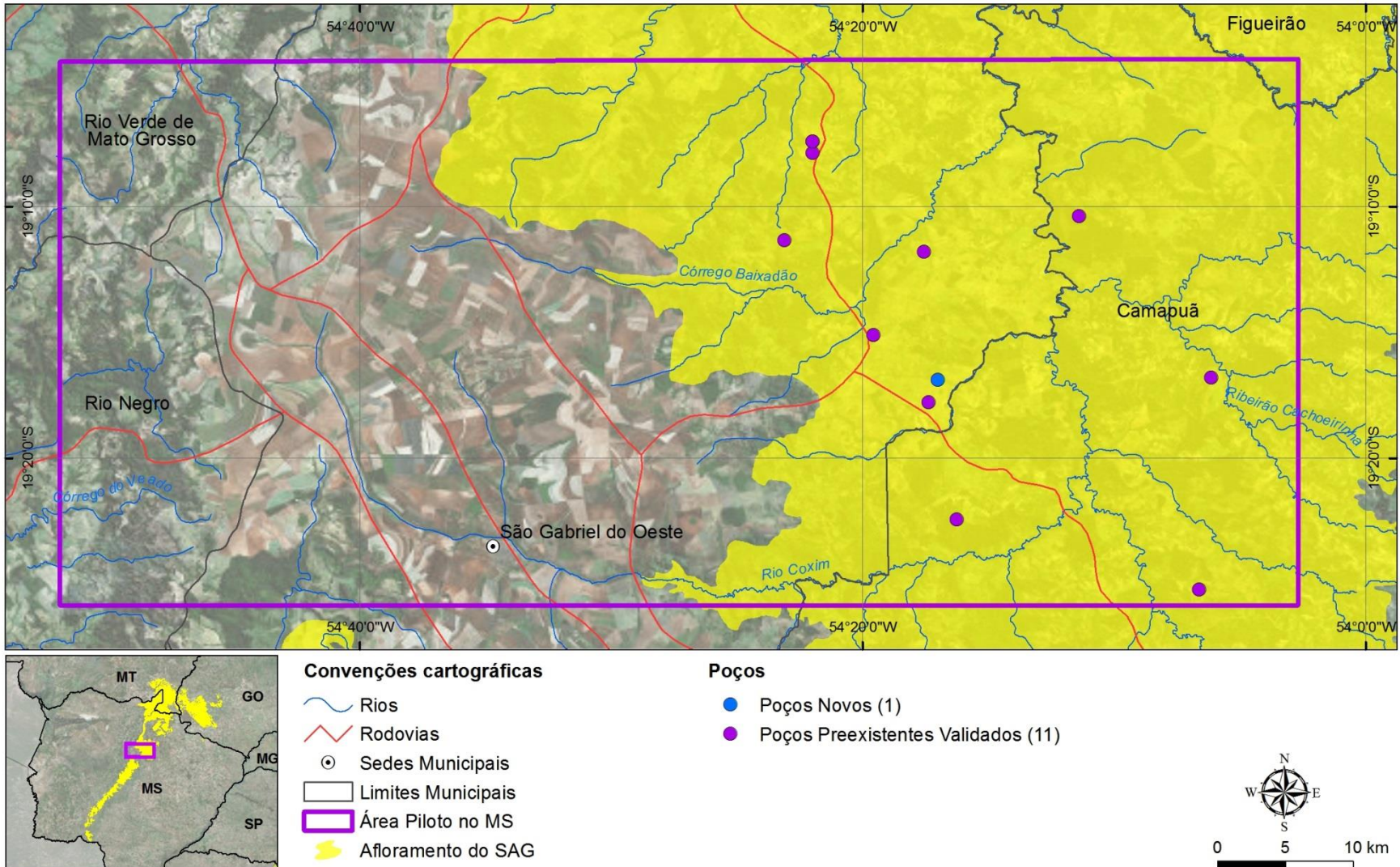


Figura 1.19 - Poços preexistentes e poços novos cadastrados no projeto.



---

### 1.3 MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

---

O uso e ocupação da terra são reflexos de atividades econômicas, como a industrial e a agrícola, entre outras, responsáveis por alterações na qualidade da água, do ar, do solo e de outros recursos naturais, que interferem diretamente na qualidade de vida da população.

No contexto das águas subterrâneas, as diferentes formas de uso e ocupação da terra determinarão quais são os principais tipos de contaminantes com potencial de alcançar os aquíferos. Destacam-se as atividades agrícolas que, frequentemente são responsáveis por ocorrências de contaminação difusa da água subterrânea em decorrência da utilização de fertilizantes e agrotóxicos, e de usos inadequados das terras.

Considerando estas premissas, sublinha-se a importância do mapeamento de uso e ocupação da terra realizado para o conjunto das áreas de afloramento do SAG na escala 1:50.000. A partir deste mapeamento foi possível estabelecer uma associação entre as classes de uso e ocupação da terra com o potencial de carga contaminante associado às atividades desenvolvidas.

#### 1.3.1 Metodologia do Mapeamento de Uso e Ocupação da Terra

O mapeamento de uso e ocupação da terra na área piloto de São Gabriel do Oeste foi elaborado na escala 1:50.000 com base na classificação de imagens de satélite do sensor *Landsat 8*, com datas a partir do primeiro semestre de 2013.

O *Landsat 8* possui 9 bandas previamente ortorretificadas, que podem ser utilizadas para compor imagens coloridas com resolução espacial de 30 m<sup>2</sup> por pixel. Essa resolução pode ainda ser incrementada por meio de fusão com a banda pancromática disponível, ampliando a resolução final para 15 m<sup>2</sup>. Em comparação com as imagens do *Landsat 5*, tais imagens mostraram melhores nitidez e definição, principalmente quando montadas com a banda de infravermelho próximo.

Assim, foi utilizada a cena 225-073 obtida através do site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (<http://earthexplorer.usgs.gov>) em Julho de 2013, período de entressafra da soja. A cena foi tratada para aumentar a resolução para 15 m<sup>2</sup> e, em seguida, as bandas 5, 4, 3 e 2 foram empilhadas em uma única imagem.

Os polígonos resultantes deste processo foram classificados sobre as imagens em falsa-cor, com edições e correções manuais, quando necessárias. Tais polígonos oriundos da segmentação sobre a imagem *Landsat* aderiram com precisão às classes de maior expressão espacial, próprias das áreas ocupadas por campos e culturas agrícolas ou ambientes constituídos por vegetação nativa, cenário predominante da área piloto de São Gabriel do Oeste.

Para auxiliar o trabalho de classificação dos tipos de uso na área piloto foram tomados pontos de controle georreferenciados, em campo, para alguns padrões de uso pré-definidos. Estes pontos de controle eram cadastrados em fichas com a descrição do uso de seu entorno e com

fotografias, possibilitando assim a aferição da classe identificada na imagem, como ilustrado na Figura 1.20.

No total foram elaboradas dez fichas de controle de campo, sendo três localizadas na área de abrangência do piloto e outras sete nas proximidades desta poligonal, como ilustra a Figura 1.21. Além disso, como a escala de detalhe exigiu melhor precisão para delimitação dos usos, foram consultadas as imagens de alta resolução disponibilizadas pelo *Google Earth*.

Para a interpretação dos segmentos das imagens foram utilizados elementos básicos de reconhecimento como cor, tonalidade, forma, padrão, densidade, textura e tamanho.

Com base no edital e compatibilizadas com a escala adotada neste mapeamento (1:50.000), foram identificadas nesta área as seguintes classes de uso<sup>1</sup>:

- ✓ Área Urbana
- ✓ Assentamento Rural
- ✓ Culturas Anuais
  - ✧ Soja/Milho/Sorgo
  - ✧ Campo/Pastagem
  - ✧ Silvicultura
  - ✧ Mata Ciliar ou de Galeria
  - ✧ Campos Úmidos ou de Várzea
  - ✧ Cerrado
  - ✧ Rios
  - ✧ Massas d'água
  - ✧ Barramentos de água<sup>2</sup>
  - ✧ Estradas <sup>2</sup>
  - ✧ Limites Municipais e Estaduais <sup>2</sup>

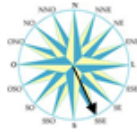
---

<sup>1</sup> As classes Mineração, Mata, Culturas Semiperenes (cana-de-açúcar), Culturas Perenes, Indústria, Aeroporto, Porto e Unidades de Conservação não ocorrem na área-piloto do Mato Grosso do Sul e nesta área foi incluída a classe de Assentamento Rural.

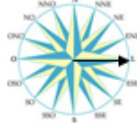
<sup>2</sup> Os itens referentes à infraestrutura, limites políticos e barramentos de água existentes na área são apresentados em formato vetorial. No específico caso das estradas, não foi possível mapear sua área por meio de polígonos em decorrência de a sua espessura ser inferior a 150 metros.

Município: São Gabriel do Oeste, Estado: MS  
Código do Ponto: 293  
X: 740503 Y: 7839093 Fuso: 21

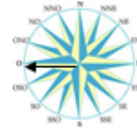
Cód.Fotografia: 335  
Direção geográfica do ponto central:  
(marque com uma seta a partir do centro)



Cód.Fotografia: 336  
Direção geográfica do ponto central:  
(marque com uma seta a partir do centro)



Cód.Fotografia: 337  
Direção geográfica do ponto central:  
(marque com uma seta a partir do centro)



**Tipos de uso**

<input checked="" type="checkbox"/> <b>Agricultura</b>	Tipo de Cultura: <u>Soja</u>	
Utiliza irrigação?	<input type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Não
Situação do Solo:	<input checked="" type="checkbox"/> Seco	<input type="checkbox"/> Encharcado
Relevo:	<input checked="" type="checkbox"/> Plano	<input type="checkbox"/> <u>Ingrima</u>
<hr/>		
<input type="checkbox"/> <b>Reflorestamento</b>		
Espécie plantada:	<input type="checkbox"/> Eucalipto	<input type="checkbox"/> Pinus
Relevo:	<input type="checkbox"/> Plano	<input type="checkbox"/> <u>Ingrima</u>
<hr/>		
<input type="checkbox"/> <b>Mata</b>		
Vegetação:	<input type="checkbox"/> Densa	<input type="checkbox"/> Rasteira <input type="checkbox"/> Ciliar (margem dos rios)
Transição com outros usos	<input type="checkbox"/> Abrupta	<input type="checkbox"/> Suave
<hr/>		
<input type="checkbox"/> <b>Campo</b>		
Aparência geral:	<input type="checkbox"/> Campo limpo	<input type="checkbox"/> Campo sujo
Vegetação:	<input type="checkbox"/> Rasteira	<input type="checkbox"/> Rasteira e arbórea
Relevo:	<input type="checkbox"/> Plano	<input type="checkbox"/> <u>Ingrima</u>
<hr/>		
<input type="checkbox"/> <b>Área urbana</b>		
Aparência geral:	<input type="checkbox"/> Densamente ocupada (sem presença de grandes espaços vazios)	
	<input type="checkbox"/> Insipiente (presença de espaços vazios)	
Composição:	<input type="checkbox"/> Apenas urbana	<input type="checkbox"/> Presença de indústrias nas proximidades
<hr/>		
<input type="checkbox"/> <b>Solo Exposto</b>		
Localização:	<input type="checkbox"/> Próximo a áreas urbanas	<input type="checkbox"/> Pastos ou campos de cultivo (pré ou pós corte, incluído o reflorestamento)



Figura 1.20 – Fichas de campo disponíveis para a área piloto.

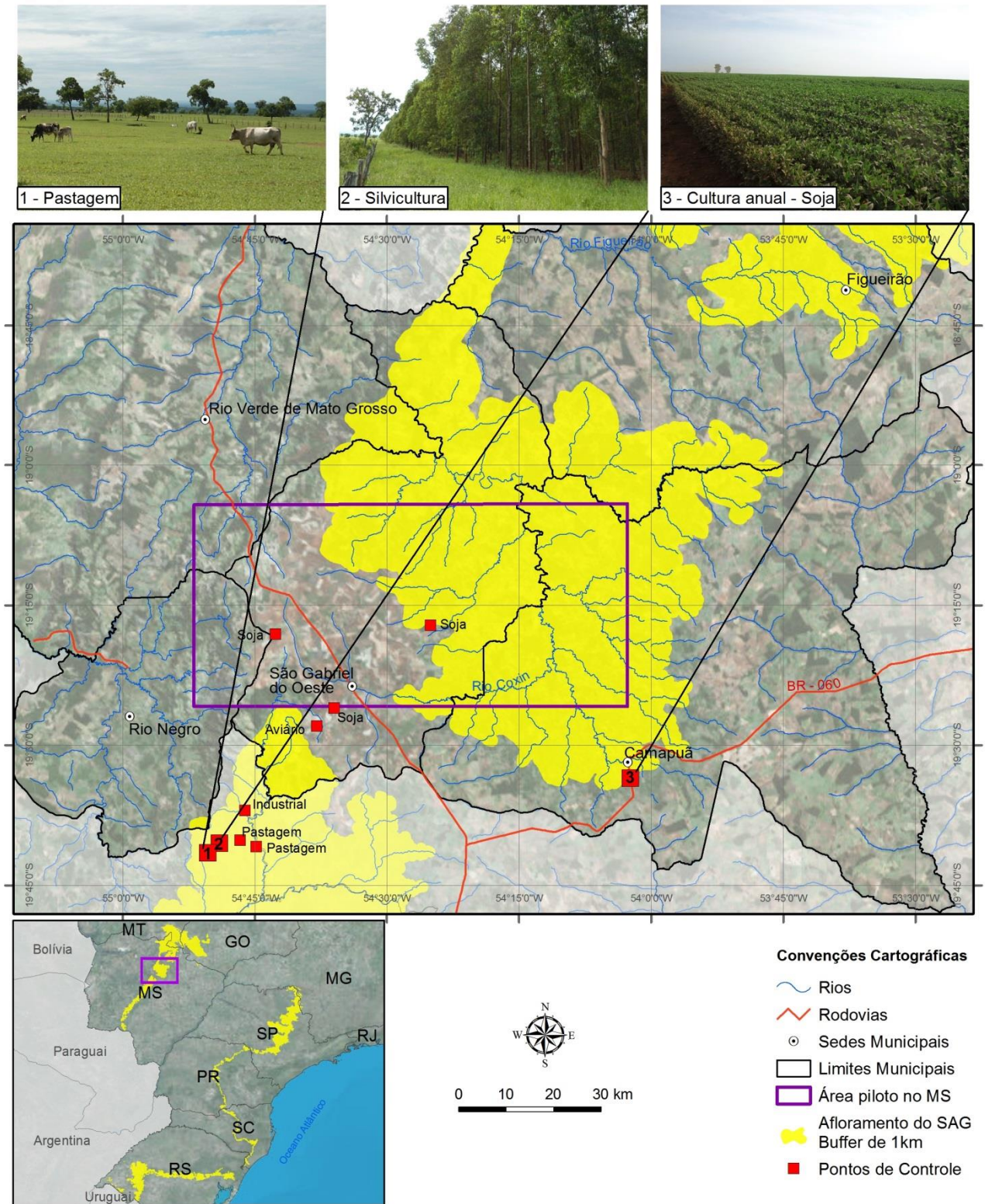


Figura 1.21 – Localização dos pontos de controle de campo para mapeamento do uso e ocupação da terra na área piloto de São Gabriel do Oeste.

É importante mencionar que as culturas de milho e soja possuem respostas espectrais muito similares, o que dificulta bastante o discernimento das áreas ocupadas por uma e por outra. Dificuldade que é intensificada em função do plantio e da colheita de ambas serem realizadas mais ou menos na mesma época, no período entre janeiro e abril e entre setembro e dezembro. Desta forma, mesmo utilizando modernas técnicas de sensoriamento remoto, há em geral uma superestimação das culturas de milho, conforme atesta Moreira *et al.* (1998).

Vale destacar que entre julho e setembro, período conhecido por Vazio Sanitário, não se pode realizar o plantio da soja nos estados do Centro-Oeste, além de SP, MG, MA e DF com objetivo de evitar o alastramento da ferrugem asiática. Quando as culturas de milho são plantadas neste período, e as imagens de satélite são tomadas pouco antes da liberação para o plantio da soja, torna-se mais fácil identificar as áreas destinadas a essa cultura.

Contudo, as análises realizadas em campo não identificaram grandes plantações de milho na área piloto. De fato, os três pontos próximos à área de plantio de São Gabriel do Oeste indicam a soja como cultura predominante. Além disso, do ponto de vista da contaminação do aquífero, tanto a monocultura da soja quanto a do milho possuem similaridades quanto aos procedimentos de adubagem e uso de pesticida. Assim, em virtude destas semelhanças, da confirmação visual e por pontos de controle da extensão da plantação de soja e da indisponibilidade de imagens de melhor resolução espacial e espectral da área, não foram realizados testes para identificar, por sensoriamento remoto, as possíveis áreas com milho que, de qualquer forma, seriam pequenas para a escala adotada.

### **1.3.2 Análise do Uso e Ocupação da Terra**

Inserida entre as coordenadas de 54,86º e 54,04º a oeste de Greenwich e 19,07º e 19,43º do hemisfério sul, a área piloto de São Gabriel do Oeste (MS) tem aproximadamente 3.400 km<sup>2</sup>, ocupada pelos municípios de São Gabriel do Oeste (60%), Camapuã (26%), Rio Negro (8,8%), Rio Verde de Mato Grosso (5%) e Figueirão (0,2%).

Trata-se de uma região agrícola desenvolvida por frentes migratórias provenientes do sul do país, responsáveis pela implantação de uma estrutura produtiva baseada na agricultura mecanizada de grãos e na pecuária.

A paisagem nessa área apresenta certa homogeneidade, conforme mostrado nas Figuras 1.22 e 1.23, com predomínio marcante das áreas de campo/pastagem, cerrado e culturas anuais (soja, milho e sorgo). A quantificação para cada uma das classes é apresentada no Quadro 1.1 e na Figura 1.24 tanto para a área piloto como para o afloramento. Ressalta-se contudo, que o conjunto das análises para o uso do solo foram realizadas para o conjunto da área piloto, por incluir nela o afloramento.

**QUADRO 1.1 – CLASSES DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA**

<i>Classe</i>	<i>Área Piloto (km<sup>2</sup>)</i>	<i>%</i>	<i>Afloramento (km<sup>2</sup>)</i>	<i>%</i>
Urbano	11,3	0,33	0,53	0,03
Assentamento	32,8	0,95	-	-
Silvicultura	1,2	0,04	-	-
Cultura Anual - Soja/milho e sorgo	965,3	28	15	0,82
Cultura Anual Irrigada por Pivô Central <sup>3</sup>	4	0,1	-	-
Campo/Pastagem	1.232,4	36	1.019	55,74
Mata Ciliar ou de Galeria	247,6	7	176,1	9,63
Campos Úmidos ou de Várzea	21,8	0,63	10	0,55
Cerrado	918,7	26,6	595,7	32,6
Rios	11,3	0,33	11,2	0,61
Lagos	1,0	0,03	0,34	0,02
<b>Total</b>	<b>3.447,4</b>	<b>100</b>	<b>1.827,87</b>	<b>100</b>

A área piloto está no centro do bioma cerrado, que inicialmente se estendia por todo o atual território da região do centro-oeste e parte dos estados do nordeste e sudeste, com área maior que 2 milhões de km<sup>2</sup> ou 23% do território nacional, menor apenas que o bioma Amazônia.

Estudos realizados por Mantovani (1998), por Machado *et al.* (2004), Klink & Machado (2005), entre outros, apontam que metade da área original do Cerrado foi alterada com objetivo de exploração (esta região é considerada como a última fronteira agrícola do Brasil). Isso é preocupante quando se considera a importância biológica que ostenta esse bioma, tendo o maior número de espécies florísticas em savana no mundo e local das nascentes das principais bacias hidrográficas brasileiras.

<sup>3</sup> As áreas irrigadas computadas no mapeamento correspondem apenas as áreas que utilizam o sistema de pivô central, facilmente identificáveis na imagem de satélite. Os demais sistemas de irrigação, assim como aspersão, gotejamento etc, não são possíveis identificar na imagem de satélite dada a escala de trabalho, 1:50.000.

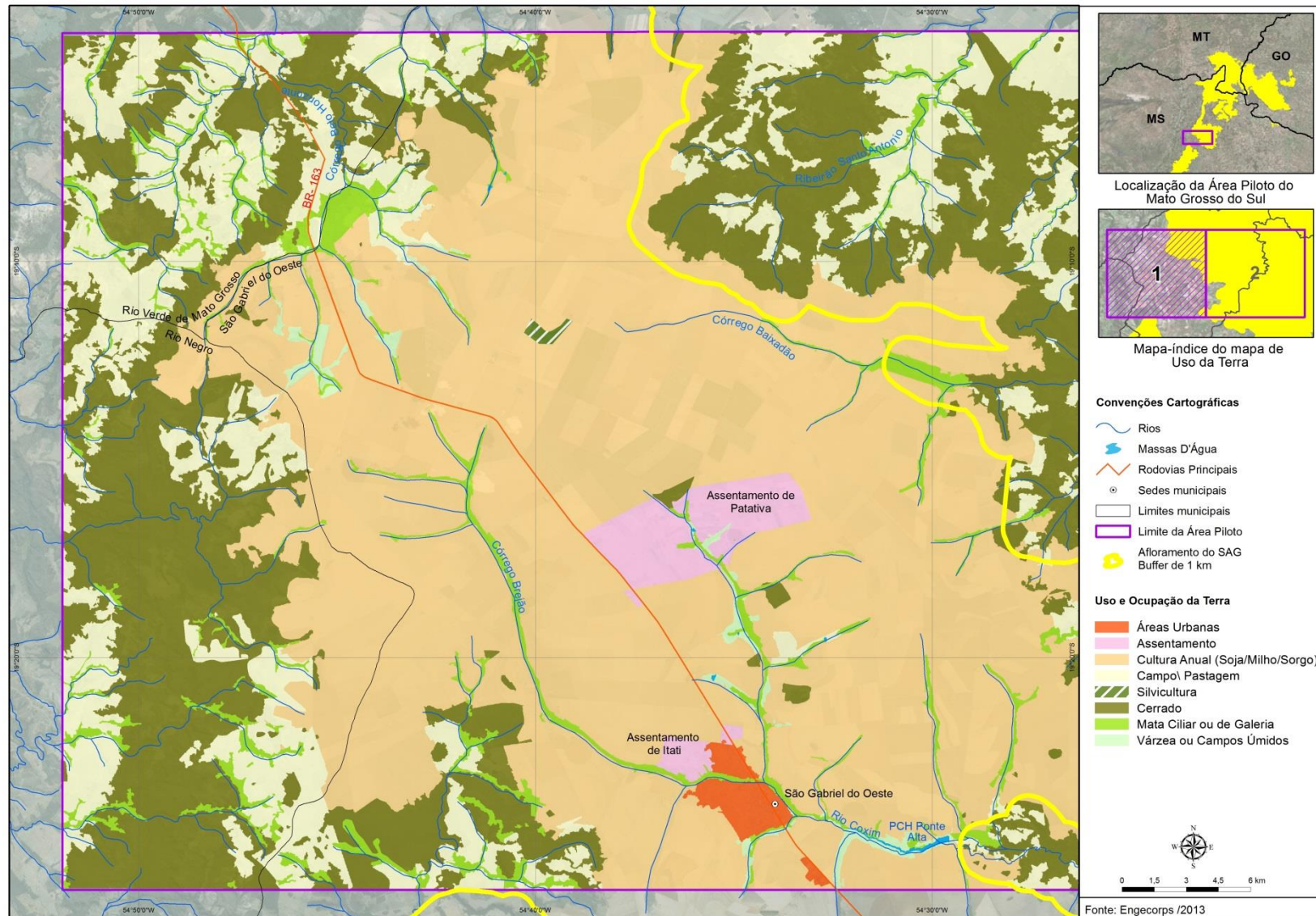


Figura 1.22 – Mapa de uso e ocupação da terra da área piloto de São Gabriel do Oeste - Folha 1/2.

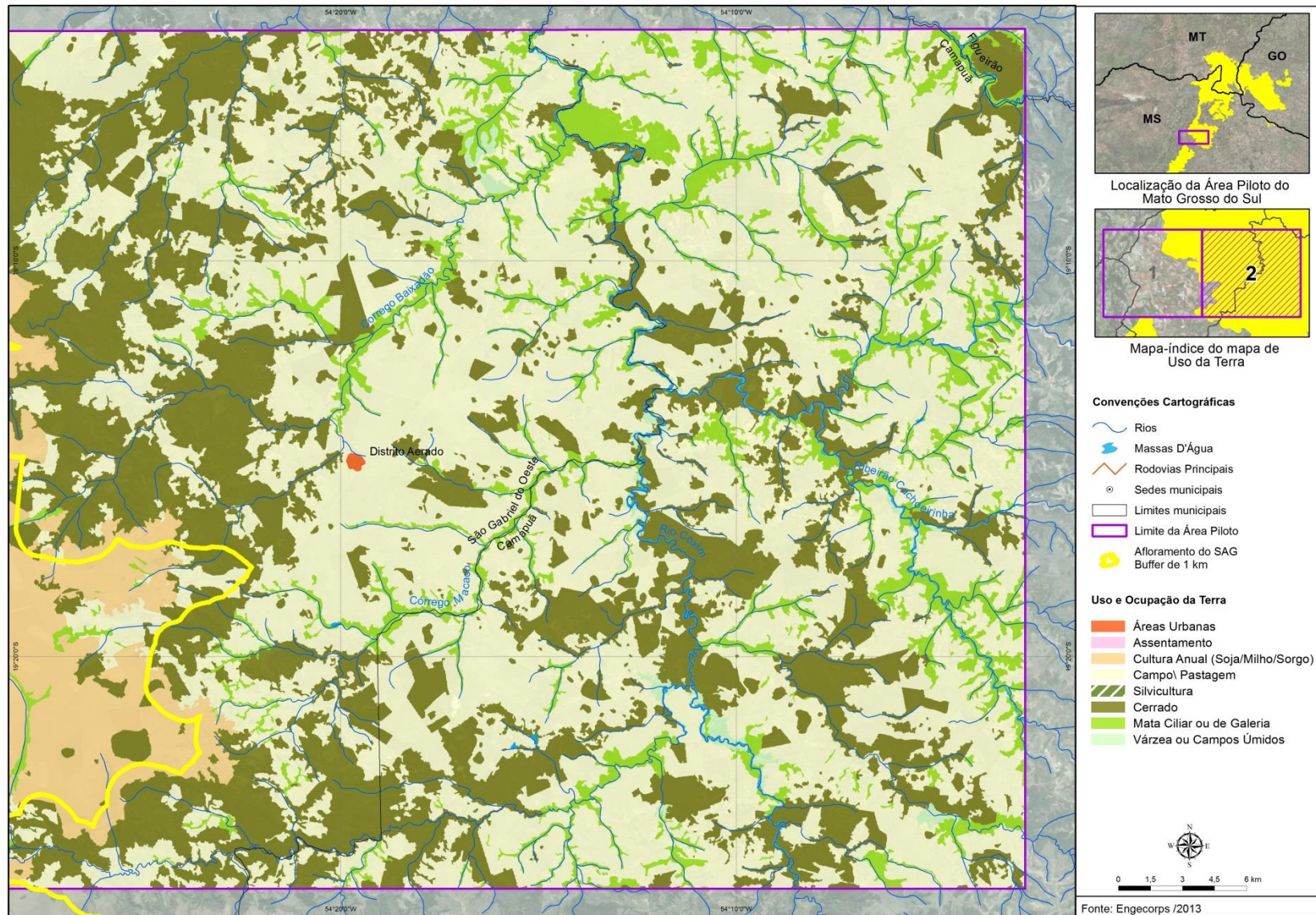


Figura 1.23 – Mapa de uso e ocupação da terra da área piloto de São Gabriel do Oeste - Folha 2/2.



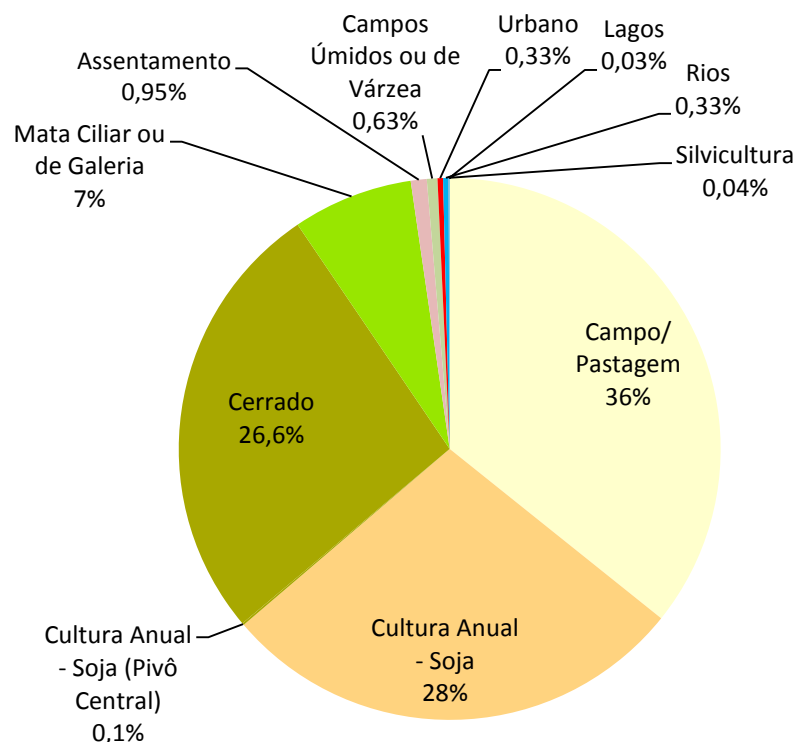


Figura 1.24 – Classes de uso e ocupação da terra da área piloto de São Gabriel do Oeste.

Segundo Klink & Machado (2005), as taxas de desmatamento variam entre 22.000 km<sup>2</sup> e 30.000 km<sup>2</sup> por ano, e são superiores às encontradas na Amazônia. Em 2004 o cerrado possuía apenas 4,5% do seu território protegido, sendo 2,2% relativos às unidades de conservação e 2,3% relativos às terras indígenas (Machado *et al.*, 2004).

Destaca-se que o mapeamento realizado apontou a ocorrência de 1.188,1km<sup>2</sup> de áreas cobertas por vegetação nativa na área piloto, o que representa 34% do total mapeado. Nestes valores está inserido o cerrado, a mata ciliar ou de galeria e os campos úmidos. Os dois primeiros se destacam com 26,6% e 7,2%, respectivamente, de cobertura na área piloto.

A afirmação na qual o cerrado é a última fronteira agrícola se baseia, em geral, nas condições favoráveis ao desenvolvimento agropecuário que os solos deste bioma apresentam, de modo que o cerrado está submetido a constantes pressões para sua conversão em campos de pastagem ou culturas anuais de diversos tipos.

Neste contexto, destaca-se o declínio paulatino da vegetação original e a consequente substituição pelas atividades agropecuárias, como a monocultura da soja e milho. As áreas de cerrado apresentam-se bastante alteradas por sucessivos processos de desmatamento.

Ressalta-se que a região do cerrado, como um todo, sofreu um importante avanço das áreas destinadas à agropecuária nos últimos quarenta anos, com objetivo de aumentar a produção e os lucros. Para atender a essa demanda expansiva, a agricultura se baseou fortemente na dependência de agroquímicos e mecanização, e optou pelo reforço e expansão das monoculturas.

Tais movimentos ocorrem costumeiramente de maneira desorganizada e desregulamentada, sem atender aos critérios técnicos que seriam cabíveis, expondo áreas ecologicamente frágeis a riscos desnecessários do ponto de vista ambiental.

Não obstante, essa conversão provoca profundas alterações nos atributos físico-químicos do solo ao longo do tempo, causadas não apenas pela troca da cobertura, mas também em função do tipo de preparo do solo, uso de maquinário, agrotóxicos e manejo de resíduos, entre outros (Lourente *et.al.*, 2011).

Segundo Bacani (2010), a ocupação da região teve início no final do século XIX e começo do século XX, primeiramente com pecuaristas vindos de Minas Gerais, empurrados em parte por crises econômicas e em parte atraídos pelas facilidades para ocupar as terras do oeste, onde havia pastos naturais e grandes áreas cobertas por vegetação arbustiva, as formações savânicas e campestres do cerrado. Tais movimentos migratórios visavam à expansão dos rebanhos e dos negócios.

O cenário ambiental começou a se modificar novamente a partir da segunda metade do século XX, quando a capital do país foi transferida para Brasília e junto com as mudanças políticas implantadas no Brasil surgem os projetos de expansão da produção agrícola, ampliando as fronteiras e ocupando mais intensamente o norte e centro-oeste.

As políticas para a ocupação do centro-oeste estabelecidas no começo do regime militar incentivaram o deslocamento de famílias do sul do país, as quais possuíam condições de financiar suas próprias tentativas de plantio de grãos na região. As primeiras famílias chegaram ao local na década de 1960.

Assim, o desenvolvimento que é instaurado no cerrado nas décadas seguintes leva à construção da Estrada de Rodagem Campo Grande – Cuiabá, e quando suas obras seguiam adiantadas, já no início da década de 1970, os fazendeiros Balduino Mafisoni e Gabriel Abrão uniram interesses para criar o núcleo de povoamento de São Gabriel do Oeste em suas margens, e que viria a ser elevado a município já em maio de 1980, com áreas desmembradas dos municípios de Bandeirantes, Camapuã e Coxim (Bacani, 2010).

Vale observar que alguns aspectos locais da cidade revelam sua conexão com a origem sulista dos seus colonizadores, tal como a festa do Chimarrão e a do Porco no Rolete, que são inclusive organizadas por empresas sediadas no Rio Grande do Sul.

O único núcleo urbano presente na área mapeada corresponde à cidade sede do município de São Gabriel do Oeste e seu distrito Aerado, que juntos representam 0,3% da área piloto. Ambos apresentam um padrão tipicamente urbano, composto inteiramente de construções horizontalizadas. Destaca-se a existência de galpões e silos ao sul da cidade sede pertencentes a Cooperativa Agropecuário de São Gabriel do Oeste - COASGO.

O núcleo urbano da área piloto e seu entorno encontra-se inserido na região do chamado Chapadão de São Gabriel, com seu relevo plano a suavemente ondulado, um planalto desenvolvido sobre coberturas de detritos e lateritas, ricas em ferro, que ajudaram no desenvolvimento de um solo mais espesso e fértil, do tipo Latossolo com teor argílico entre 8% e 18%, criando um ambiente propício à agropecuária e favorecendo a mecanização.

Essa fertilidade das terras da região de São Gabriel do Oeste atraíram inicialmente a introdução da cafeicultura e, conseqüentemente, um grande número de colonos. Entretanto as excelentes perspectivas da cultura do café foram passageiras, declinando em meados de 1975 devido a fortes geadas na região, que reduziram a zero todas as lavouras.

Os primeiros testes para o plantio de soja foram realizados em 1977, e já em 1980 é plantada em uma grande área nas proximidades da cidade, sendo este o grão que viria a caracterizar a produção agrícola no cerrado, abrindo as portas para um novo ciclo econômico da região, e posteriormente do Brasil.

Atualmente, a produção da soja se destaca na região. Segundo o mapeamento de uso e ocupação da terra, esta cultura, juntamente como as culturas anuais de milho e sorgo, ocupam 28% da área piloto, concentradas predominantemente ao redor da área urbana, conforme pode ser observado nas Figuras 1.22 e 1.23, apresentadas anteriormente. Cabe ressaltar que a cultura da soja é sem dúvida, a maior responsável pelo progresso da região.

No mapeamento de uso e ocupação da terra foram identificados 969,3 km<sup>2</sup> de culturas anuais, entretanto, dada a escala do mapeamento, não foi possível distinguir as áreas plantadas de soja, milho e sorgo. Sabe-se que nos municípios inseridos na área de abrangência da área piloto predomina o cultivo da soja, e em menor escala, do milho e sorgo, como ilustra a Figura 1.25, segundo dados da Produção Agrícola Municipal (IBGE, 2011).

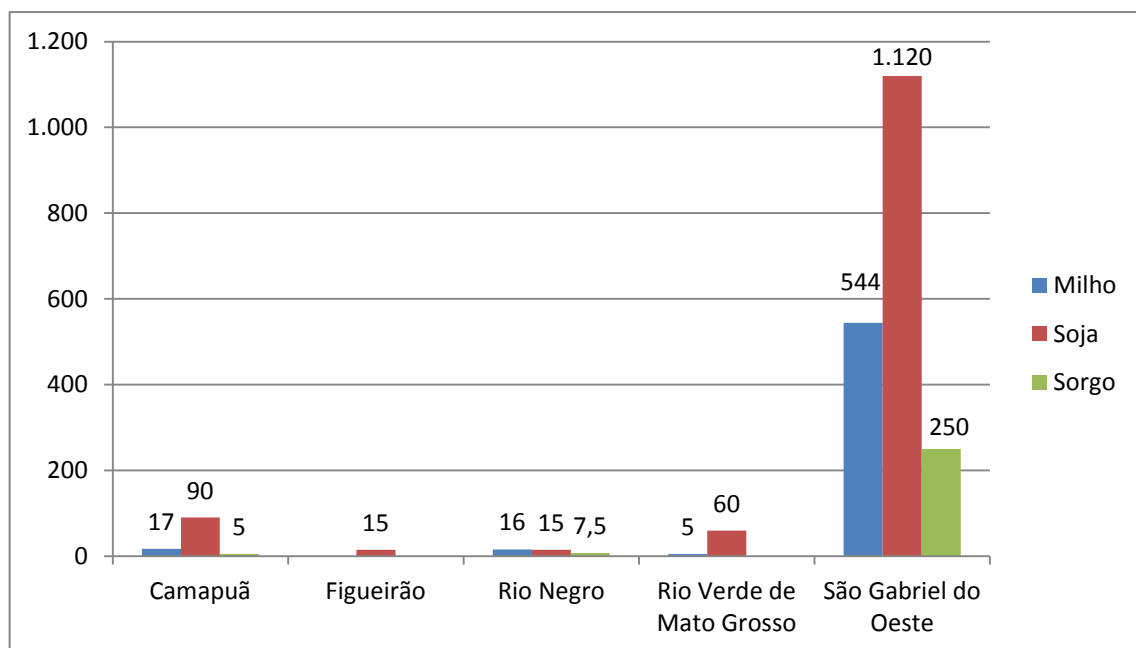


Figura 1.25 – Distribuição das principais culturas agrícolas nos municípios inseridos na área piloto. Fonte: IBGE - Produção Agrícola Municipal, 2011. Informações em km<sup>2</sup>.

Das áreas ocupadas com as culturas anuais na área piloto, aproximadamente 0,4% são utilizadas por sistemas de irrigação por pivô central, visando suprir o déficit sazonal de chuvas e, assim, aumentar a produtividade destas culturas.

Segundo a Embrapa (2001), os métodos de irrigação são particularmente vantajosos, principalmente por estabilizar a produção e a rentabilidade da terra em patamares mais elevados, além de ampliar o número de pessoas empregadas na lavoura. É importante mencionar que a produção em uma área irrigada é, em geral, três vezes superior à agricultura em áreas de sequeiro. Estima-se que em cerca de 8% da área plantada do estado do Mato Grosso do Sul é utilizado algum método de irrigação (IBGE, 2007).

É importante salientar que no mapeamento realizado foram identificadas apenas as áreas irrigadas atendidas pelo sistema de pivôs centrais, que são facilmente identificáveis na imagem de satélite. As áreas onde são utilizados outros sistemas de irrigação, como aspersão, principal método utilizado no município de São Gabriel do Oeste segundo dados do Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2007), não foram mapeadas, pois não são identificáveis na imagem de satélite na escala de trabalho (1:50.000).

No mapeamento de uso e ocupação da terra também foram identificados alguns locais onde ocorrem barramentos de água (açudes), com objetivo principal de criar reservas para irrigação, como ilustrado nas Figuras 1.22 e 1.23, anteriores. Foram identificados sete barramentos localizados próximos às nascentes dos primeiros afluentes do rio Coxim, e ainda a Pequena Central Hidrelétrica (PCH) de Ponte Alta, a qual tem uma produção de 13.000 Kw e espelho d'água de aproximadamente 45 ha.

Segundo o Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2007), São Gabriel do Oeste é o município que mais se utiliza da irrigação, com 19,93 km<sup>2</sup> irrigados, utilizando principalmente o método de aspersão, que representa 76% do total, tendo ainda áreas irrigadas por microaspersão ou gotejamento.

Vale mencionar que, no Censo Agropecuário, as áreas irrigadas por meio do sistema de pivô central não são discernidas. Entretanto, com base nas imagens de satélite, foram identificadas quatro (4) áreas irrigadas que se utilizam deste método nas proximidades da cidade de São Gabriel do Oeste, somando 4 km<sup>2</sup>, como apresentado na Figura 1.22. O Censo ainda revela que quase a totalidade das terras irrigadas neste município são compostas por propriedades de grande porte, com mais de 500 ha.

Cabe ainda dizer, em relação à importância da irrigação no estado de Mato Grosso do Sul, que atualmente está em fase de elaboração o Plano Diretor de Irrigação. Este plano tem como objetivo principal a definição de estratégias de ações e arranjo institucional para que seja possível o desenvolvimento sustentável de uma agricultura irrigada, permitindo sua expansão e conferindo a ela importância nas esferas social, econômica e ambiental, adiantando-se à recém-criada Política Nacional de Irrigação, instituída em Janeiro de 2013.

A área piloto é um importante produtor de soja e milho, com uso intensivo de agroquímicos. Segundo Bacani (2010), entre 1985 e 1996 um estudo realizado em São Gabriel do Oeste para quantificar e qualificar o emprego dos agroquímicos constatou que a cultura de soja foi a que mais se utilizou destes insumos.

Os insumos agrícolas utilizados nas plantações são uma fonte potencial de poluentes dispersos, sendo que estes compostos atravessam as camadas de solo por percolação e atingem extensas áreas através de grandes e contínuas plumas de contaminantes nas águas subterrâneas (Pinto, 2003). A quantidade e velocidade da percolação dependem do tipo do agroquímico utilizado e das características ambientais do solo e de seu substrato.

Do ponto de vista da contaminação do aquífero, tanto a monocultura de soja quanto a de milho possuem algumas similaridades quanto aos procedimentos de adubagem e uso de pesticida, mas em geral, o consumo de agroquímicos em culturas de soja costuma ser um tanto maior que aquele utilizado nas culturas de milho. Em 2012, segundo levantamento do SINDIVEG, a cobertura de soja recebeu 229.796 toneladas de material pesticida, que representa 49% de todo material utilizado no Brasil, contra 82.666 toneladas que foram utilizados na produção de milho, que representa 18% dos pesticidas consumidos. Isso significa dizer que a soja utilizou 2,8 vezes mais agrotóxicos que o milho em uma área que é apenas 1,6 vezes maior, segundo os dados de área plantada do IBGE (2007).

Barbosa *et. al.* (2010) afirmam que em Mato Grosso do Sul já foi detectada a presença de material organoclorado nas águas subterrâneas na região de Dourados, no centro-sul do estado, onde existem extensas áreas ocupadas por agriculturas.

Além de maior quantidade, também é maior a variedade de compostos utilizados no plantio de soja. A sistematização dos compostos utilizados nas duas culturas, realizada pela SEAB-PR, constatou que enquanto existem 498 diferentes produtos para utilização na defesa das plantações de soja, há 365 para as plantações de milho, sendo que apenas 259 deles são de uso comum às duas plantações.

Em estudo realizado no município de São Gabriel do Oeste, Barbosa *et. al.* (2010) levantaram 31 compostos utilizados nas culturas agrícolas, dentre os quais treze apresentam potencial para lixiviação. Cinco estão na zona de transição, oito tem potencial de lixiviação nulo e os outros cinco não tem classificação. Estes agroquímicos estão identificados no Quadro 1.2.

A distribuição das classes de toxicidade dos compostos utilizados nas plantações de milho e soja pode ser visualizada na Figura 1.26. Destaca-se o fato de que a maioria dos compostos para as duas culturas estão entre Altamente Tóxico e Extremamente Tóxico, sendo uma minoria os produtos classificados como Pouco Tóxicos, segundo dados do SEAB-PR.

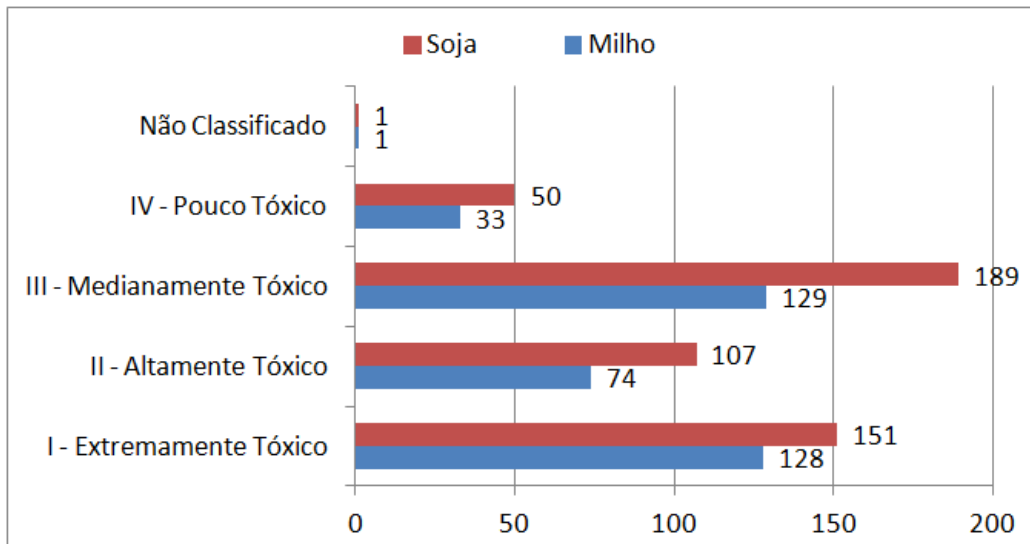
**QUADRO 1.2 – COMPOSTOS UTILIZADOS NAS CULTURAS AGRÍCOLAS NO MUNICÍPIO DE SÃO GABRIEL DO OESTE**

<i>Herbicida</i>	<i>LIX</i>	<i>Classificação</i> <sup>2</sup>
Sulfentranane	0,98708	PL
Imazethapyr	0,84417	PL
Picloram	0,69101	PL
Flumetsulam	0,66865	PL
Fomesafen	0,661	PL
Atrazine	0,40657	PL
Metribuzin	0,35416	PL
Imazaquin	0,31349	PL
Bentazone	0,30839	PL
2,4-D	0,25007	PL
Simazine	0,22135	PL
Metolachlor	0,21438	PL
Chlorimuron-ethyl	0,14912	PL
Alachlor	0,04082	ZT
Linuron	0,00966	ZT
Acifluorfen-sodium	0,00372	ZT
Clomazone	0,00372	ZT
Cyanazine	0,00008	ZT
Butoxydim	0	N
Diquat	0	N
Fluazifop-p-butyl	0	N
Lactofen	0	N
Paraquat	0	N
Pendimethalin	0	N
Sethoxydim	0	N
Trifluralin	0	N
Diclosulam <sup>1</sup>	-	-
Dimethenamid <sup>1</sup>	-	-
Fenoxaprop <sup>1</sup>	-	-
Flumiclorac-pentyl <sup>1</sup>	-	-
Haloxifop <sup>1</sup>	-	-

<sup>1</sup> Dados insuficientes.

<sup>2</sup> Classificação segundo SPADOTTO (2002): PL - Potencial de Lixiviação; ZT - Zona de Transição; N - Nulo

Fonte: Barbosa *et al.*, 2010



Fonte: SEAB-PR

Figura 1.26 – Distribuição dos agrotóxicos por classe de toxicidade para cada cultura.

Coutinho *et al.* (2008) fizeram uma análise espacial, por meio de álgebra de mapas, do potencial de lixiviação de herbicidas nas áreas de afloramento do SAG, no município de São Gabriel do Oeste, considerando os tipos de solo e uma modelagem de risco de lixiviação. Estes autores constataram que o cultivo de soja e milho sobre as áreas de afloramento do SAG pode ser extremamente arriscado para a qualidade da água subterrânea.

Nesta mesma linha, Barbosa *et al* (2010) destacam o fato de que a agricultura de São Gabriel do Oeste posiciona-se, em geral, sobre um substrato de rochas sedimentares e, desta forma, podem constituir uma via de aporte de poluentes nas águas subterrâneas. Ainda segundo estes autores, os problemas maiores estão nas áreas nordeste e sudeste do município, onde a agricultura intensa sobre material (solo e rocha) arenoso favorece a percolação dos compostos.

É importante salientar que o risco ambiental sobre a contaminação das águas subterrâneas se agrava considerando que 100% da água captada para consumo humano no município de São Gabriel do Oeste provem dos aquíferos ali existentes (SAAE, 2009 *apud* Barbosa *et al.*, 2010).

As áreas dedicadas às pastagens estão dispersas por toda a área piloto, entretanto são mais presentes na parte oeste, sobre áreas de afloramento do SAG. As pastagens, entremeadas ao cerrado, constituem o uso dominante, representando 35,7% da área total.

A principal produção desses campos (pastagens) é o gado para corte, que totalizou em 2011 mais de 1,5 milhão de cabeças de boi (7% da produção do estado de Mato Grosso do Sul) entre os cinco municípios, cujos limites estão dentro da área de estudo, e o gado leiteiro com mais de 45.000 litros de leite. Galos e galinhas são também produzidos nestas áreas, com quase 50.000 cabeças de aves nesses municípios.

Cabe ainda mencionar que um grande problema ambiental ligado às áreas de pastagens é a erosão. Segundo Bacani (2010), a expansão agropecuária que São Gabriel do Oeste experimentou desde a década de 1970 suprimiu boa parte da mata ciliar que auxilia na contenção das partículas do solo.

Os processos erosivos encontrados na área piloto em geral estão associados à erosão laminar ou ao ravinamento, intensificado com a ocupação das cabeceiras por culturas agrícolas (especialmente erodidas quando a chuva ocorre no período entressafras, momento em que o solo fica exposto) e pastagens. Associados normalmente às pastagens há inclusive a formação de voçorocas em algumas localidades, muitas vezes como resultado das compactações do solo causadas por bovinos em seu caminho em direção às fontes de água. Com o processo erosivo acelerado nas cabeceiras ocupadas por culturas e pastagens e sem a proteção vegetal nas margens dos rios, os municípios viram os cursos de água sofrerem assoreamento, enchentes fora de época e nascentes secando.

Desde meados da década de 2000, merece destaque a suinocultura nesta região. Por causa da elevada oferta de grãos, muitos produtores começaram a diversificar suas propriedades rurais, entrando em cena a suinocultura. O município de São Gabriel do Oeste é o maior produtor de suínos do estado de Mato Grosso do Sul. Segundo Crispim *et.al.* (2010), o município registra cerca de 140 mil cabeças e média de abate de 1,2 mil cabeças de suínos por dia.

A suinocultura é desenvolvida, na sua maioria, em área de 1 a 5 ha e está associada com atividades agrícolas (milho, soja e pastagem). Caracteriza-se pelo alto nível de confinamento animal, associado ao elevado consumo de água.

A suinocultura é reconhecidamente uma atividade de grande potencial poluidor. A disposição inadequada de resíduos suinícolas pode se tornar fonte relevante de degradação ambiental. Os trabalhos desenvolvidos na área de manejo de dejetos da suinocultura indicam que nenhum tratamento em uso no Brasil permite que o resíduo final seja lançado diretamente nos cursos d'água (Crispim *et al.* 2010).

É importante destacar a experiência que vem sendo realizada pelos criadores de suínos do município de São Gabriel do Oeste. Há sete anos eles aplicam em suas granjas uma alternativa que é modelo de sustentabilidade para dar destinação aos dejetos dos animais. Com os biodigestores, os excrementos são transformados em biogás que é usado para gerar energia para abastecer as propriedades. O material que sobra do processo vira adubo orgânico e acaba sendo utilizado pelos produtores na fertirrigação de pastagens e lavouras.

Ressalta-se que 62,5% dos dejetos de suínos são utilizados em biodigestores para a produção de energia, de tal forma que boa parte das granjas que não se utilizam do sistema quer migrar, em vista da possibilidade de entrar no mercado de créditos de carbono. No pós-tratamento desses dejetos, algo em torno de 12,5% é disposto no solo, sem qualquer finalidade agrícola, enquanto o restante é utilizado como adubo nas lavouras de milho e soja, além de pastagens, em São Gabriel do Oeste, segundo Fortes *et al.* (2007).



No mapeamento de uso e ocupação da terra foi possível identificar, na área piloto, dois assentamentos, o Itaqui e o Patativa, localizados no entorno do núcleo urbano de São Gabriel do Oeste. O assentamento Itaqui possui aproximadamente 173 lotes, com uma população estimada de 550 pessoas e o assentamento Patativa em torno de 45 lotes. Estes assentamentos produzem grãos, frutas, legumes e criam gado leiteiro e de corte.

A classe com a menor representação (0,04% da área piloto) é a silvicultura, que está em uma única área ao norte de São Gabriel do Oeste, com apenas 1,21 km<sup>2</sup>. Apesar de pequena, representa uma tendência que vem se verificando nos últimos anos, que é o aparecimento de áreas com plantio de eucaliptos para a produção de carvão vegetal. Segundo Duboc *et.al.* (2008), é possível haver expansão da silvicultura neste bioma dada a possibilidade de integração das árvores de eucaliptos com a produção de soja, pasto e outros, sempre que o sistema for corretamente desenhado.

Por fim, os rios e lagos representam 12,3 km<sup>2</sup>, ou 0,36% da área-piloto, com especial destaque para o Rio Coxim e seus principais afluentes.

#### **1.4 CADASTRO DE FONTES POTENCIAIS DE CONTAMINAÇÃO**

##### **1.4.1 Fontes potenciais pontuais de contaminação**

As fontes potenciais de contaminação pontuais geralmente produzem plumas claramente definidas e mais concentradas, o que facilita sua identificação e, em alguns casos, seu controle. Todavia, quando as atividades poluentes pontuais são múltiplas, acabam representando, no final, uma fonte basicamente difusa no que diz respeito à identificação e ao controle (Foster *et al.*, 2006).

As fontes potenciais pontuais de contaminação estão associadas aos empreendimentos industriais e comerciais, geralmente instalados nas áreas urbanas dos municípios, e ao esgotamento sanitário *in situ* (fossas sépticas).

Os levantamentos cadastrais realizados obtiveram informações de:

- ✓ Destinação adequada ou não de resíduos sólidos (IBGE, Atlas de Saneamento, 2011);
- ✓ Cadastro de postos de combustíveis (Petrobras);
- ✓ Localização de cemitérios por meio de imagens do *Google Earth*;
- ✓ Cadastro de postos de recebimento de embalagens de agrotóxicos (INPEV);
- ✓ Cadastro de empreendimentos potencialmente poluentes (IMASUL-MS);
- ✓ Cadastro técnico federal de atividades potencialmente poluidoras ou utilizadoras de recursos ambientais do IBAMA.

Vale mencionar que nem sempre os dados obtidos junto aos órgãos dispunham de localização geográfica, seja por coordenadas, seja por endereço ou CEP, assim, em certas situações mostrou-se mais interessante apresentar os dados para o conjunto dos cinco municípios que

compõem a área piloto. Desta forma, sempre que o ponto onde se situa o empreendimento não estiver nos limites do perímetro da área piloto, esta situação será explicitada.

O cadastro de destinação de resíduos sólidos do Atlas de Saneamento do IBGE (2011), elaborado com dados de 2008, aponta a existência de 26 pontos de descarte representados por aterros controlados, aterros sanitários, unidades de triagem e reciclagem e lixões nas áreas do SAG em Mato Grosso do Sul, dos quais 5 se encontram nos municípios que compõem a área piloto estudada, sendo um para cada município, conforme Figura 1.27.

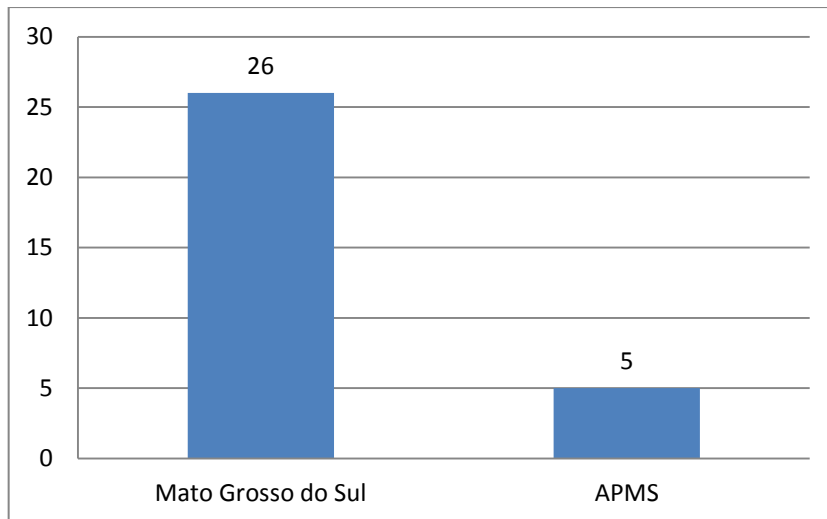


Figura 1.27 – Disposição de resíduos sólidos.

A Figura 1.28 apresenta os pontos de descarte distribuídos de acordo com a forma de disposição dos resíduos sólidos na área piloto de São Gabriel do Oeste. Observa-se maior quantidade de vazadouros a céu aberto, que configuram três unidades nos municípios de São Gabriel do Oeste, Camapuã e Rio Verde de Mato Grosso. Em Rio Negro há um aterro sanitário e apenas Figueirão dispõe de aterro controlado.

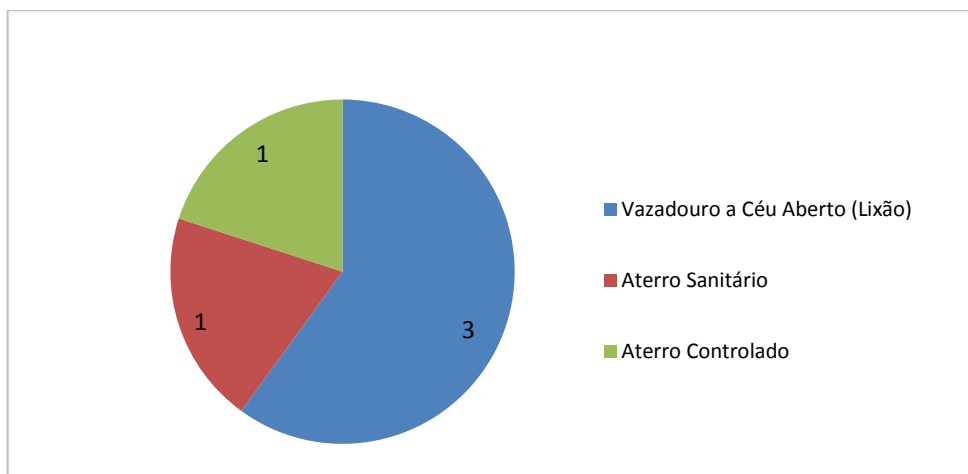


Figura 1.28 – Disposição de resíduos sólidos nos municípios da Área Piloto -São Gabriel do Oeste

De acordo com informações da Petrobras, existem 32 postos de combustíveis localizados em Mato Grosso do Sul, sendo que três estão localizados dentre os municípios que compõem a área piloto de São Gabriel do Oeste, e um deles está localizado no interior da área piloto, no município de São Gabriel do Oeste, conforme a Figura 1.29.

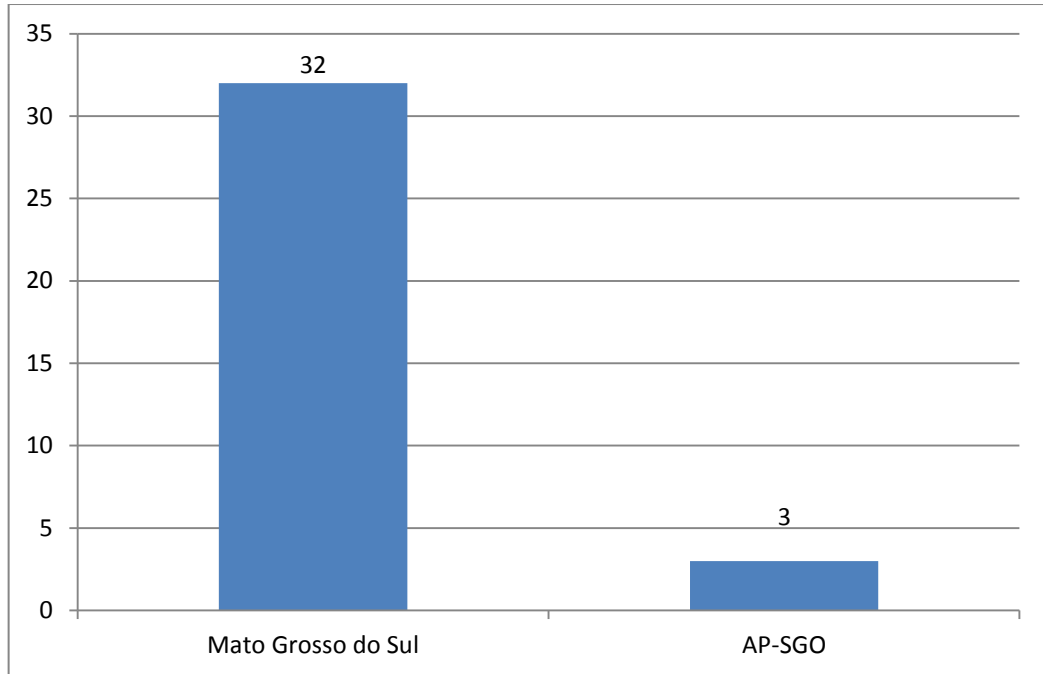


Figura 1.29 – Cadastro de postos de combustíveis (Petrobrás, 2013)

Com relação aos cemitérios presentes na área aflorante do SAG no estado de Mato Grosso do Sul, foram identificados ao todo oito com a utilização de imagens do Google Earth. Apenas um deles está entre os municípios que pertencem à área piloto (Camapuã), todavia não no interior da área (Figura 1.30).

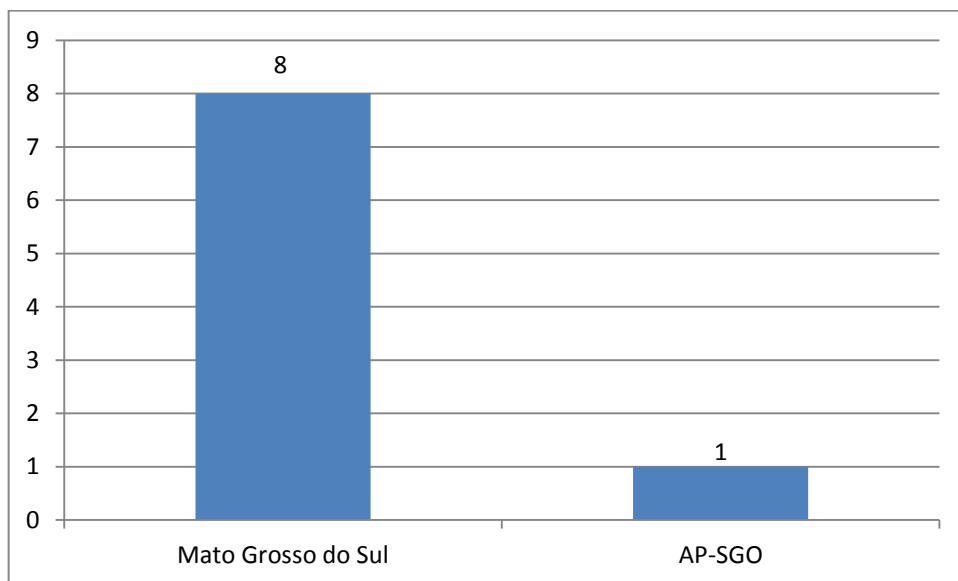


Figura 1.30 – Cemitérios identificados na região do SAG e da Área Piloto de São Gabriel do Oeste

Segundo informações do INPEV, existem cinco postos de recebimento de embalagens de agrotóxicos no estado de Mato Grosso do Sul, sendo que um deles se encontra na área piloto, no município de São Gabriel do Oeste, conforme mostra a Figura 1.31.

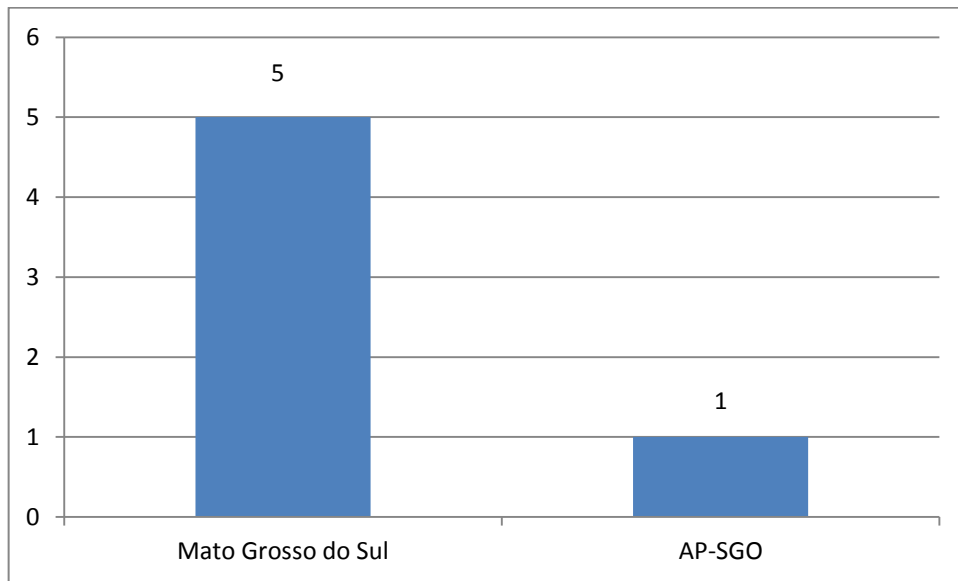


Figura 1.31 – Número de postos de recebimento de embalagens de agrotóxicos (INPEV)

O cadastro de empreendimentos potencialmente poluentes do IMASUL apontou 64 empreendimentos potencialmente poluentes nos cinco municípios que compõem a área piloto. Dentre estes empreendimentos, 27 estão localizados no município de São Gabriel do Oeste, pertencentes aos ramos de postos de combustíveis, suinocultura, destinação e recebimento de embalagens, fabricação de ração e laticínios. Deste total, 14 estão localizados sobre a área piloto (Figura 1.32).

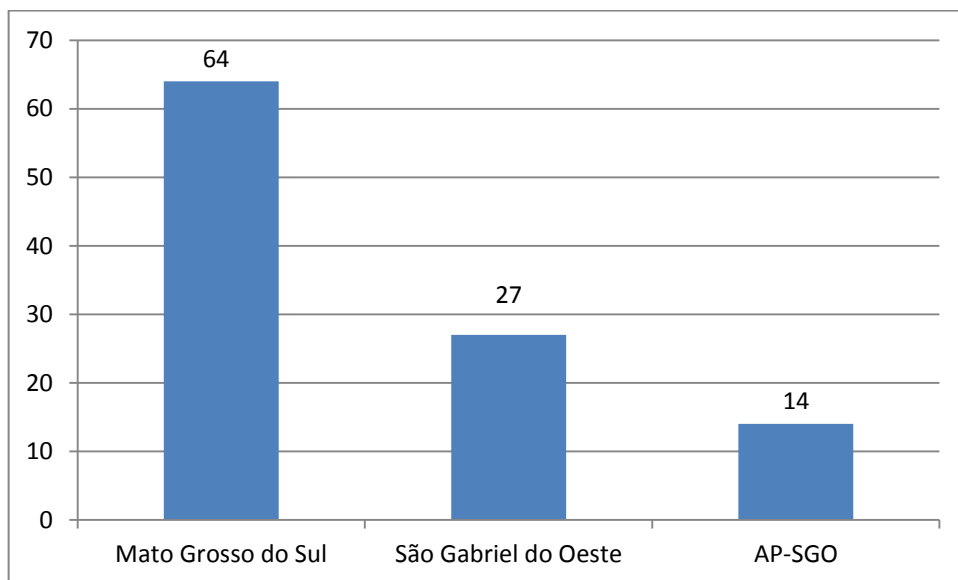


Figura 1.32 – Número de empreendimentos potencialmente poluentes cadastrados no Mato Grosso do Sul, em São Gabriel do Oeste e na área piloto (Cadastro IMASUL)

O Cadastro Técnico Federal do IBAMA (IBAMA, Anexo VIII, leis nº 6.938/1981 e nº 10.165/2000) classifica as atividades potencialmente poluidoras em 20 classes principais, às quais está associado um índice específico em função do grau potencial de risco de contaminação dos recursos ambientais que, por sua vez, varia entre pequeno, médio e alto (Quadro 1.3). A Instrução Normativa nº 31, de 3 de dezembro 2009, apresenta complementação para o enquadramento de atividades do Cadastro Técnico Federal.

**QUADRO 1.3 – CLASSIFICAÇÃO DE ATIVIDADES POTENCIALMENTE CONTAMINANTES E GRAU DE RISCO ASSOCIADO (LEI Nº 10.165/2000)**

<b>Código</b>	<b>Classificação</b>	<b>Grau de risco IBAMA</b>
<b>01</b>	<b>Extração e Tratamento de Minerais</b>	<b>Alto</b>
<b>02</b>	<b>Indústria de Produtos Minerais Não Metálicos</b>	<b>Médio</b>
<b>03</b>	<b>Indústria Metalúrgica</b>	<b>Alto</b>
04	Indústria Mecânica	Médio
05	Indústria de Material Elétrico, Eletrônico e Comunicações	Médio
06	Indústria de Material de Transporte	Médio
<b>07</b>	<b>Indústria de Madeira</b>	<b>Médio</b>
08	Indústria de Papel e Celulose	Alto
09	Indústria de Borracha	Pequeno
10	Indústria de Couros e Peles	Alto
<b>11</b>	<b>Indústria Têxtil, de Vestuário, Calçados e Artefatos de Tecidos</b>	<b>Médio</b>
12	Indústria de Produtos de Matéria Plástica	Pequeno
13	Indústria do Fumo	Médio
14	Indústrias Diversas	Pequeno
<b>15</b>	<b>Indústria Química</b>	<b>Alto</b>
<b>16</b>	<b>Indústria de Produtos Alimentares e Bebidas</b>	<b>Médio</b>
<b>17</b>	<b>Serviços de Utilidade</b>	<b>Médio</b>
<b>18</b>	<b>Transporte, Terminais, Depósitos e Comércio</b>	<b>Alto</b>
19	Turismo	Pequeno
20	Uso de Recursos Naturais	Médio
<b>98*</b>	<b>Veículos Automotores - Pneus - Pilhas e Baterias</b>	<b>Médio</b>

\* Instrução Normativa nº 31

De acordo com o Cadastro Técnico Federal, foram identificados 307 empreendimentos potencialmente contaminantes de recursos ambientais, distribuídos em 10 classes (identificadas em negrito no Quadro 1.3), nos cinco municípios inseridos, total ou parcialmente, na área piloto de São Gabriel do Oeste, como ilustra a Figura 1.33.

A Figura 1.34 mostra espacialização dos empreendimentos potencialmente poluentes segundo o cadastro do IMASUL e apresenta também, informações sobre o potencial contaminante nos cinco municípios inseridos na área piloto segundo o IBAMA.

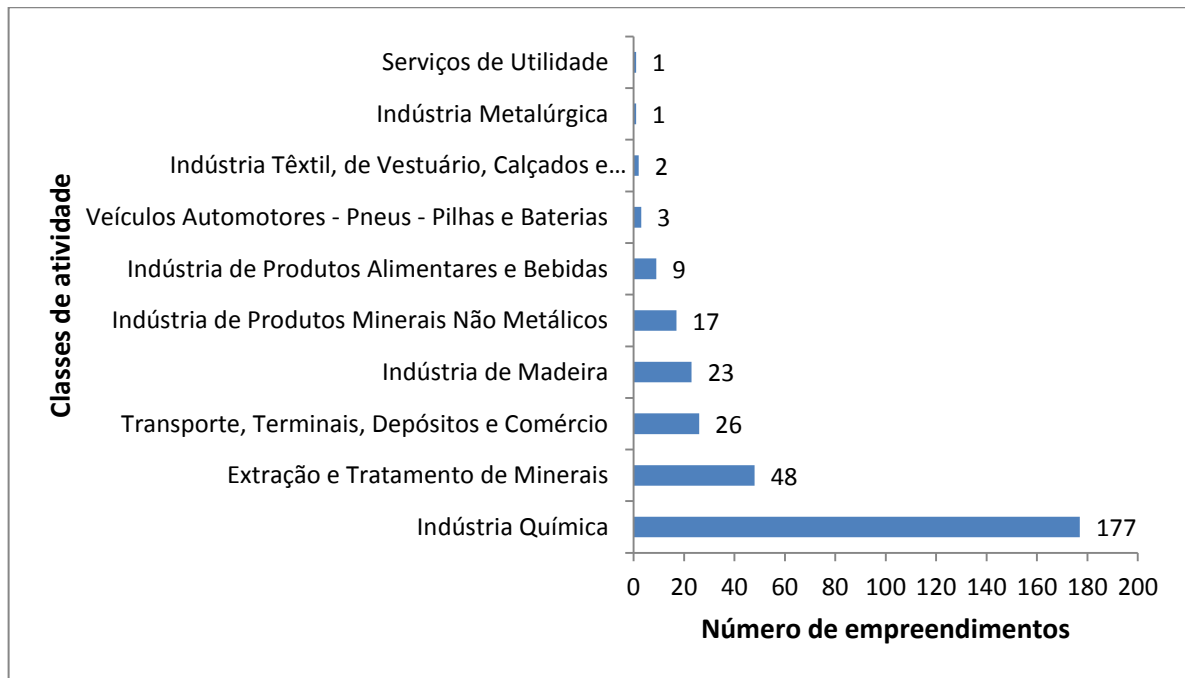


Figura 1.33 – Número de empreendimentos potencialmente contaminantes por classe de enquadramento de risco.

Dos 307 empreendimentos potencialmente contaminantes identificados, as classes de indústria química (177), extração e tratamento de minerais (48), transporte, terminais, depósitos e comércio (26) e indústria de madeira (23) ocorrem em maior número nesses municípios. Estes tipos de empreendimentos foram classificados em grau de risco potencial reduzido, moderado e elevado, como ilustra a Figura 1.35.

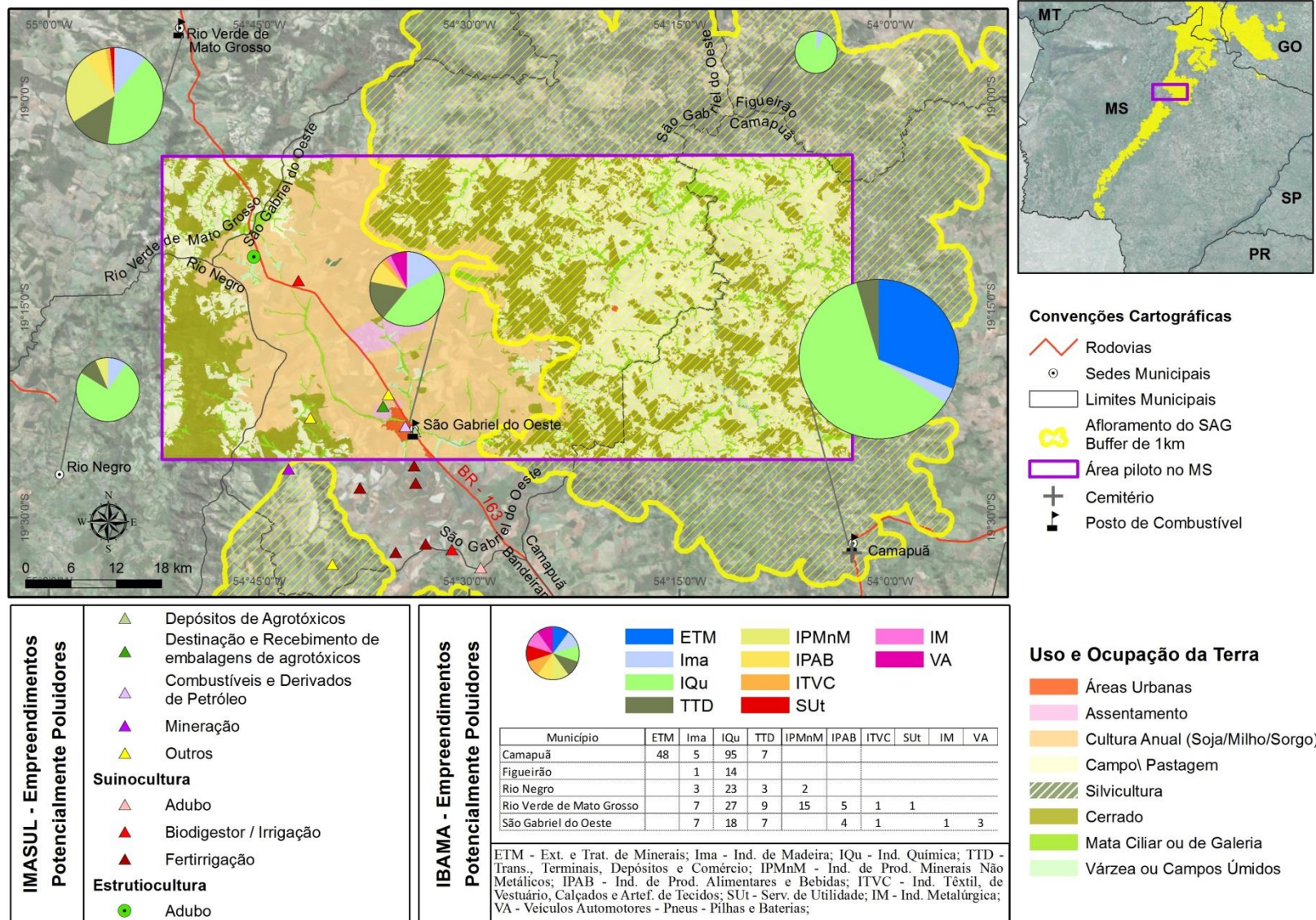


Figura 1.34 – Localização dos empreendimentos potencialmente poluentes cadastrados na área piloto de São Gabriel do Oeste.

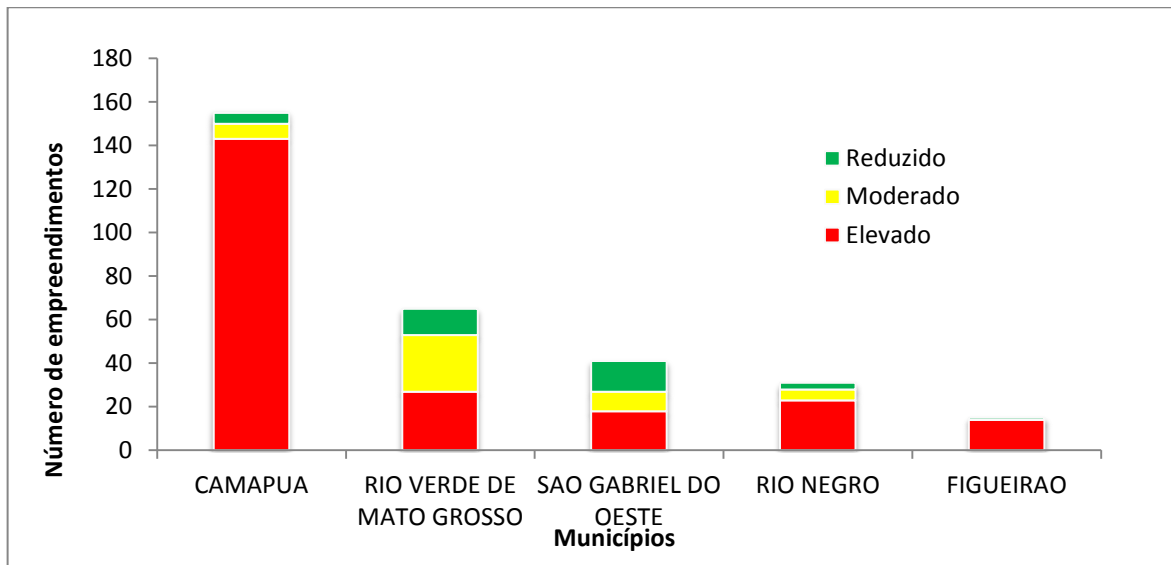


Figura 1.35 – Riscos Potenciais na Área Piloto em relação aos empreendimentos pontuais potencialmente contaminantes

Como observado na Figura 1.35, a distribuição de riscos potenciais mostra que Camapuã é o município que reúne o maior número de empreendimentos potencialmente contaminantes na área piloto. Inclusive tendo mais fontes com alto grau de risco que a soma dos demais municípios, em decorrência basicamente de sua base de indústrias químicas de extração e tratamento de minérios que somam 95 e 48 fontes, respectivamente. A maioria das fontes de risco médio fica em Rio Verde de Mato Grosso, composto principalmente de indústrias de produtos minerais não metálicos e indústrias madeireiras.

Para o caso específico do município de São Gabriel do Oeste, que tem sua sede municipal inserida na área de abrangência da área piloto, são 26 fontes potenciais de alto grau de risco, principalmente indústria química (18) e transporte, terminais, depósitos e comércios (7), e 12 fontes potenciais de médio grau de risco, principalmente indústria de madeira (7), seguida das indústrias de produtos alimentares (4) e indústria têxtil (1).

De todos os cadastros de fontes potenciais de contaminação pontuais levantados, seguramente o Cadastro Técnico Federal do IBAMA é o mais completo e abrangente. Possui representatividade adequada em todos os estados, atividades enquadradas em grupos já determinados e critérios já estabelecidos de estimativa do grau de risco. Ao contrário, os demais cadastros levantados e analisados podem apresentar duplicidade de informações com o cadastro do IBAMA, não havendo possibilidade de discernir empreendimentos inseridos em mais de um cadastro, uma vez que a estes não estão associadas coordenadas geográficas que os identifiquem como empreendimentos únicos. Outro problema de compatibilização entre os diversos cadastros refere-se à dificuldade de se agrupar diferentes classes de atividades potencialmente poluentes em classes comuns a todos, fato que pode gerar distorções quando da avaliação dos riscos associados. Por fim, cadastros mais completos e organizados podem induzir à interpretação de riscos potenciais mais elevados em função da maior quantidade de empreendimentos registrados, comparados com cadastros incompletos.



De acordo com os TDRs do projeto, sugere-se que a classificação das fontes potenciais de poluição quanto ao risco de contaminação ou grau de perigo em função do impacto da atividade econômica exercida seja feita com utilização do método POSH (*Pollutant Origin, Surcharge Hydraulically*).

O método POSH de caracterização de carga contaminante propõe a classificação de fontes potenciais de contaminação do subsolo, no caso de cadastros simplificados, com base em duas características:

- ✓ Probabilidade da presença de contaminantes, que, segundo se sabe ou se espera, são persistentes e móveis no subsolo;
- ✓ Existência de uma carga hidráulica associada (sobrecarga) capaz de gerar o transporte advectivo dos contaminantes para os sistemas aquíferos.

O método POSH classifica as fontes de contaminação em três níveis qualitativos de potencial para gerar uma carga contaminante no subsolo: reduzido, moderado e elevado. No caso de fontes pontuais de contaminação, as atividades industriais são as que oferecem maior risco e estão, normalmente, associadas às áreas urbanizadas dos municípios. A classificação POSH de atividades industriais, quanto ao seu potencial de gerar carga contaminante no subsolo, baseia-se em:

- ✓ Tipo de indústria em questão, pois isso controla a probabilidade de serem utilizados certos contaminantes da água subterrânea;
- ✓ Provável sobrecarga hidráulica associada com a atividade industrial, calculada pelo volume de água utilizado.

O Quadro 1.4 apresenta a classificação do potencial de geração de carga contaminante em áreas industriais em função do tipo de indústria, segundo o método POSH (Foster *et al.*, 2006). As indústrias tipo 1 são representadas por madeireiras, manufaturas de alimentos e bebidas, destilarias de álcool e açúcar, processamento de materiais não metálicos. As indústrias tipo 2 são representadas por fábricas de borracha, fábricas de papel e celulose, indústrias têxteis, fábricas de fertilizantes, usinas elétricas, fábricas de detergente e sabão. As indústrias tipo 3 são representadas por oficinas de engenharia, refinarias de gás e de petróleo, fábricas de produtos químicos e farmacêuticos, plásticos, pesticidas, curtumes, indústrias eletrônicas e processamento de metal.

**QUADRO 1.4 – CLASSIFICAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE CARGA CONTAMINANTE EM ÁREAS INDUSTRIAIS**

<b>Potencial de geração de carga contaminante no subsolo em áreas industriais (Foster et al. 2006)</b>	
Elevado	Indústria tipo 3 ou qualquer atividade que manuseie >100 kg/d de produtos químicos perigosos
Moderado	Indústria tipo 2
Reduzido	Indústria tipo 1

A comparação entre as classificações qualitativas de grau de geração de carga contaminante, proposta pelo método POSH, e de grau de risco associado às atividades potencialmente contaminantes, utilizada pelo IBAMA, mostra algumas divergências inerentes à subjetividade das duas classificações.

De acordo com o cadastro do IBAMA, os empreendimentos listados nos municípios inseridos na área piloto de São Gabriel do Oeste estão agrupados em 10 categorias e 19 subcategorias de atividades potencialmente poluentes, e classificados com índices que variam entre pequeno, médio e alto. Aplicando-se o método POSH às mesmas atividades e distinguindo-as com os índices similares, que variam entre reduzido, moderado e elevado, tem-se o resultado apresentado no Quadro 1.5.

A desarmonia entre as duas classificações não compromete o uso de uma ou de outra, já que o grau de subjetividade baseado numa avaliação qualitativa é grande. A Figura 1.36 apresenta a distribuição de empreendimentos por municípios localizados na área piloto de São Gabriel do Oeste, com base na classificação do potencial poluente proposta pelo IBAMA e a distribuição de empreendimentos com classificação do potencial poluente segundo o método POSH.

**QUADRO 1.5 – CLASSIFICAÇÃO COMPARATIVA DE ATIVIDADES POTENCIALMENTE POLUIDORAS OU UTILIZADORAS DE RECURSOS NATURAIS**

Código	Categoria	IBAMA	POSH
		Grau	Grau
1	Extração e Tratamento de Minerais	Alto	Elevado
2	Indústria de Produtos Minerais Não Metálicos	Médio	Moderado
3	Indústria Metalúrgica	Alto	Elevado
7	Indústria de Madeira	Médio	Reduzido
11	Indústria Têxtil, de Vestuário, Calçados e Artefatos de Tecidos	Médio	Moderado
15	Indústria Química	Alto	Elevado
16	Indústria de Produtos Alimentares e Bebidas	Médio	Reduzido
17	Serviços de Utilidade	Médio	Moderado
18	Transporte, Terminais, Depósitos e Comércio	Alto	Moderado
98	Veículos Automotores - Pneus - Pilhas e Baterias	Médio	Elevado

A comparação entre as duas classificações mostra que a proposta do IBAMA é mais austera, ou seja, a maioria dos empreendimentos nos municípios inseridos na área piloto é classificada como de potencial alto a médio. Já a classificação de POSH qualifica a maioria dos empreendimentos na área-piloto, em especial no município de São Gabriel do Oeste, como de potencial baixo a médio. A classificação do IBAMA é a mais interessante, uma vez que atividades de elevado potencial poluente em áreas vulneráveis exigem maior controle dos órgãos gestores favorecendo, conseqüentemente, a proteção das águas subterrâneas.

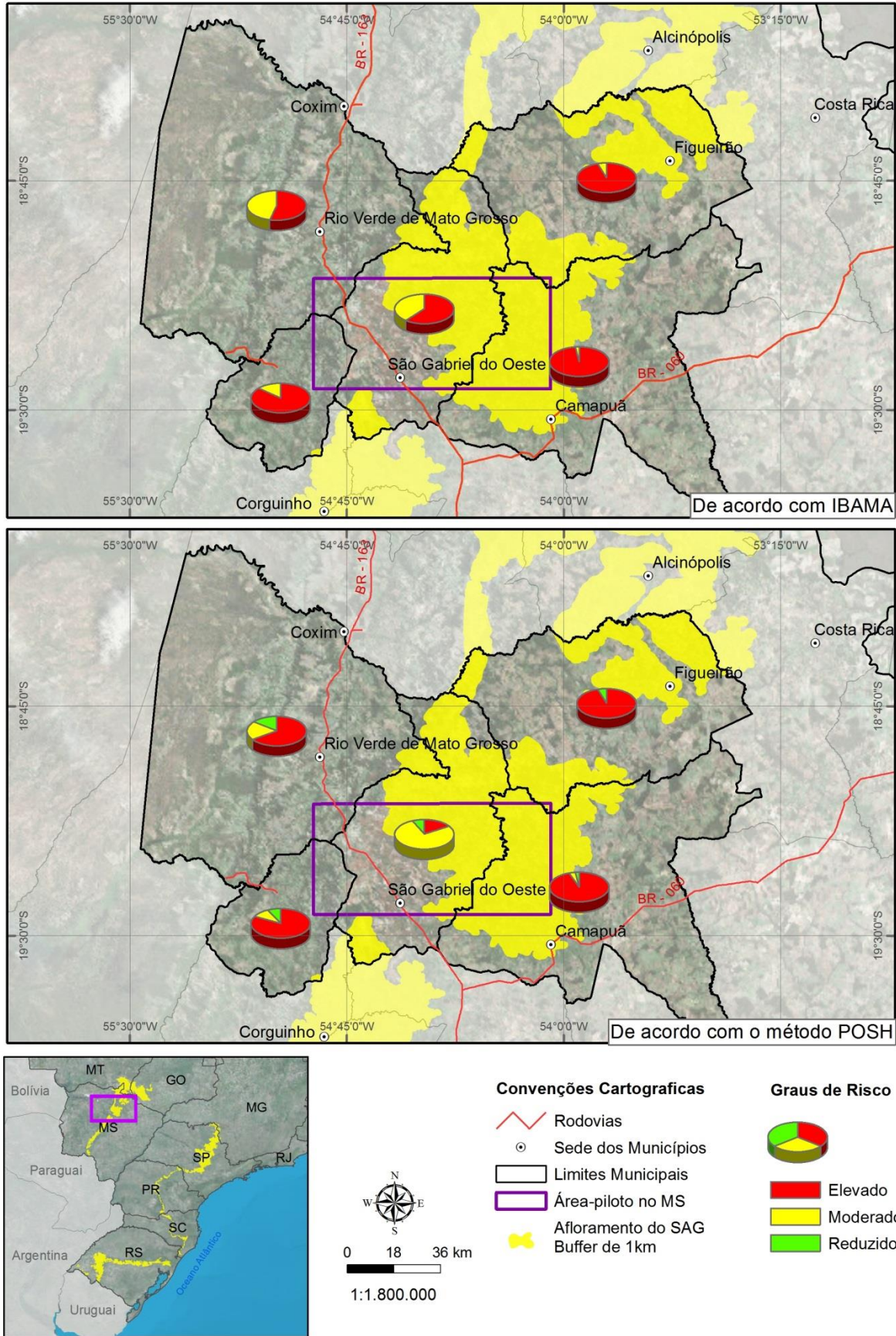


Figura 1.36 – Distribuição de empreendimentos por município com base na classificação do potencial poluente proposta pelo IBAMA e de acordo com o método POSH.

### 1.4.2 Fontes potenciais difusas de contaminação

Foram consideradas fontes potenciais difusas de contaminação das águas subterrâneas as condições de saneamento básico (rede de esgoto) nas áreas urbanas e as atividades agrícolas, nas regiões rurais. As informações sobre rede coletora de esgoto dos municípios inseridos na área piloto de São Gabriel do Oeste foram obtidas em consulta ao Censo Demográfico (IBGE, 2010). As informações sobre atividades agrícolas foram extraídas do Mapa de Uso e Ocupação da Terra, apresentado no item 1.3.

Os efluentes sanitários residenciais e industriais são lançados nas redes de esgotamento e transportados para estações de tratamento ou são despejados *in natura* em pontos de descarga, representados por cursos de água superficiais. Neste trajeto, vazamentos de efluentes sanitários liberam contaminantes que podem alcançar os níveis de água dos aquíferos subjacentes. Onde inexistem redes de esgotamento sanitário, o saneamento *in situ* representado por fossas sépticas e negras pode causar contaminação local da água subterrânea, todavia, em razão da densidade de fossas que podem coexistir nas áreas urbanas, esta atividade é enquadrada também como fonte potencial difusa.

Segundo esta concepção, as condições de saneamento referentes ao esgotamento sanitário em áreas urbanas devem ser consideradas para avaliação do potencial de contaminação das águas subterrâneas, tendo por princípio que existe um potencial contaminante mesmo em presença de rede de esgotamento sanitário. Nas áreas rurais problema semelhante pode ocorrer, porém, tendendo a assumir dimensões reduzidas e caráter pontual, em razão da dispersão de moradias. Estas mesmas considerações foram utilizadas no estudo "Diagnóstico Ambiental para Subsídio ao Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Área de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo" (SMA, 2010).

Para a classificação de fontes difusas por saneamento foi utilizado o sistema POSH – *Pollutant Origin, Surcharge Hydraulically* (Foster et al., 2006). Este método é baseado no percentual de cobertura da rede de esgoto e na densidade populacional, definindo três níveis qualitativos de potencial para geração de carga contaminante no subsolo (Quadro 1.6). As informações sobre a densidade demográfica dos municípios envolvidos foram obtidas em consulta ao Censo Demográfico (IBGE, 2010).

**QUADRO 1.6 – SÍNTESE DA CLASSIFICAÇÃO DO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DO SANEAMENTO IN SITU SEGUNDO MÉTODO POSH NA ÁREA PILOTO**

<i>Fonte de Saneamento in situ</i>	<i>Potencial de carga contaminante</i>
Cobertura da rede de esgoto >75% e densidade populacional <550 pessoas/ha	Reduzido
Cobertura da rede de esgoto entre 25% e 75% e densidade populacional entre 100 e 550 pessoas/ha	Moderado
Cobertura da rede de esgoto <25% e densidade populacional >100 pessoas/ha	Elevado

Fonte: Modificado de Foster et al., 2006

O Quadro 1.7 apresenta a síntese da classificação do saneamento *in situ* da área piloto de São Gabriel do Oeste, segundo o método POSH (Foster et al., 2006).

**QUADRO 1.7 – SÍNTESE DOS DADOS DE SANEAMENTO IN SITU DA ÁREA PILOTO**

Município	Índice de Atendimento de Esgoto (SNIS)		Habitantes em áreas urbanas - IBGE	Área (ha)	Densidade Demográfica (hab/ha)	Classificação POSH
	Total	Urbana				
São Gabriel do Oeste	36,8	42,3	19.300	1.132	17	Moderado

O Quadro 1.7 mostra que há apenas uma única área urbana inserida na área de abrangência da área piloto, o núcleo urbano de São Gabriel do Oeste. Dadas as características da cobertura da rede de esgoto e a densidade populacional, este núcleo urbano apresenta potencial moderado para geração de carga contaminante nas águas subterrâneas.

Para a classificação de fontes difusas decorrentes das atividades agrícolas utilizou-se a classificação dos Domínios Pedomorfoagroclimáticos proposta por Gomes (2008). Este método classifica os riscos de contaminação das águas subterrâneas conforme as atividades agrícolas (tipos de culturas) existentes, considerando a entrada potencial de agroquímicos no solo e a qualidade do manejo praticado, o qual pode resultar em maior ou menor taxa de lixiviação/infiltração (Barbosa *et al.*, 2011), como apresentado no fluxograma da Figura 1.37.

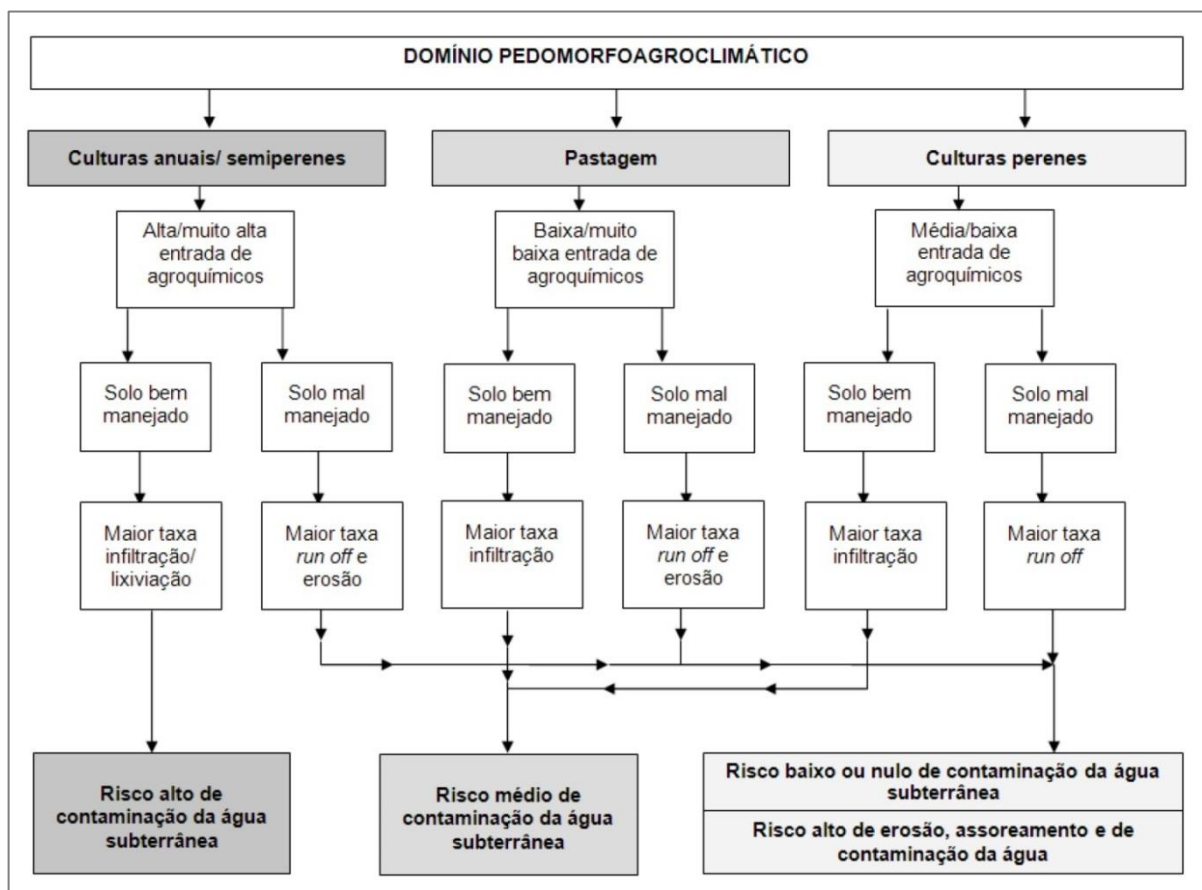


Figura 1.37 – Determinação do risco de contaminação da água subterrânea (Gomes, 2008, apud Barbosa *et al.* 2011).

Esta classificação da criticidade de acordo com o tipo de cultura proposta por Gomes (2008) foi baseada no mapeamento de uso e ocupação da terra elaborado para a área piloto de São Gabriel do Oeste, o qual delimitou duas classes principais de atividades agrícolas: cultura anual e campo/pastagem, como ilustra Quadro 1.8.

**QUADRO 1.8 – PRINCIPAIS CLASSES DE ATIVIDADES AGRÍCOLAS NA ÁREA PILOTO**

<i>Cultura anual</i>	<i>Campo/pastagem</i>
Soja Milho Sorgo	Pastagem

Ressalta-se que as informações sobre as atividades agrícolas predominantes na área piloto foram baseadas no mapa de uso e ocupação da terra e também em consultas ao Censo Agropecuário (IBGE, 2007), Produção da Pecuária Municipal (IBGE, 2012) e Produção Agrícola Municipal (IBGE, 2011).

O mapeamento de uso e ocupação da terra verificou que na área piloto as pastagens extensivas e a agricultura são os usos dominantes. Dentre os usos agrícolas, as culturas predominantes mapeadas foram a soja, o milho e o sorgo, todas culturas anuais.

O Quadro 1.9 sintetiza a classificação das atividades agrícolas na área de afloramento do SAG em relação ao potencial de contaminação, adaptada da proposta de Gomes (2008).

**QUADRO 1.9 – CLASSIFICAÇÃO DE ATIVIDADES AGRÍCOLAS NA ÁREA PILOTO QUANTO AO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO**

<i>Fonte de Atividades agrícolas</i>	<i>Potencial de carga contaminante</i>
Pastagens	Moderado
Culturas anuais	Elevado

Fonte: Adaptado de GOMES, 2008

É importante destacar que na área piloto de São Gabriel do Oeste os casos potenciais mais graves de contaminação difusa de água subterrânea, classificados como elevado potencial de carga contaminante devem-se às culturas anuais, como apresentado no Quadro 1.9. Estas atividades agrícolas, principalmente as extensas monoculturas de soja reunidas predominantemente no entorno do núcleo urbano de São Gabriel do Oeste, concentram as áreas mais críticas em relação ao potencial de contaminação.

As atividades agrícolas dedicadas às pastagens apresentam menor potencial de contaminação difusa, classificadas como grau moderado. Estas pastagens extensivas estão concentradas, predominantemente, na porção leste da área piloto.

O Quadro 1.10 apresenta uma síntese dos dados de uso e ocupação da terra classificados segundo o potencial de contaminação na área piloto. O referido quadro mostra que em decorrência dos tipos de uso da terra praticados na área piloto, mais de 35% das áreas apresentam moderado potencial para geração de carga contaminante no subsolo e nenhuma área foi classificada como de potencial reduzido.

Cabe ressaltar que alguns tipos de uso, assim como as vastas áreas dedicadas às culturas anuais praticadas, principalmente, na porção oeste na área piloto, no entorno da área urbana de São Gabriel do Oeste, proporcionam um risco maior de contaminação da água subterrânea. Em torno de 28% da área piloto apresenta elevado potencial de contaminação.

Neste contexto, com base nos métodos descritos para a classificação de fontes difusas por saneamento *in situ* (Quadro 1.6) e atividades agrícolas (Quadro 1.9) foi elaborado o mapa de classificação de fontes potenciais difusas para a área piloto de São Gabriel do Oeste, apresentado na Figura 1.38.

**QUADRO 1.10 – SÍNTESE DA CLASSIFICAÇÃO DO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA ÁREA PILOTO**

	Classe	Elevado (área km <sup>2</sup> )	Moderado (área km <sup>2</sup> )	Reduzido (área km <sup>2</sup> )	Sem classificação (área km <sup>2</sup> )	Total (km <sup>2</sup> )
<b>Área Piloto de São Gabriel do Oeste</b>	Culturas Anuais	969,3	-	-	-	969,3
	Culturas Perenes	-	-	-	-	-
	Culturas Semiperenes (cana de açúcar)	-	-	-	-	-
	Pastagens	-	1.232,4	-	-	1.232,4
	Silvicultura	-	1,2	-	-	1,2
	Outras Classe	-	-	-	1.244,5	1.244,5
<b>Área Total com Potencial de Contaminação</b>		<b>969,3</b>	<b>1.233,22</b>	-	-	<b>2.202,52</b>
<b>Área Piloto de São Gabriel do Oeste - Total</b>		<b>969,3</b>	<b>1.233,22</b>		<b>1.244,5</b>	<b>3.447,40</b>

Observação: Por "outras classes" compreendem-se todos os usos que não estão contemplados na referida metodologia. Uma vez mapeadas para o Uso e Ocupação da Terra, tais usos foram agregadas em uma classe geral denominada como "Sem Classificação" e apresentadas no mapa de Potencial de Contaminação com um cor neutra.

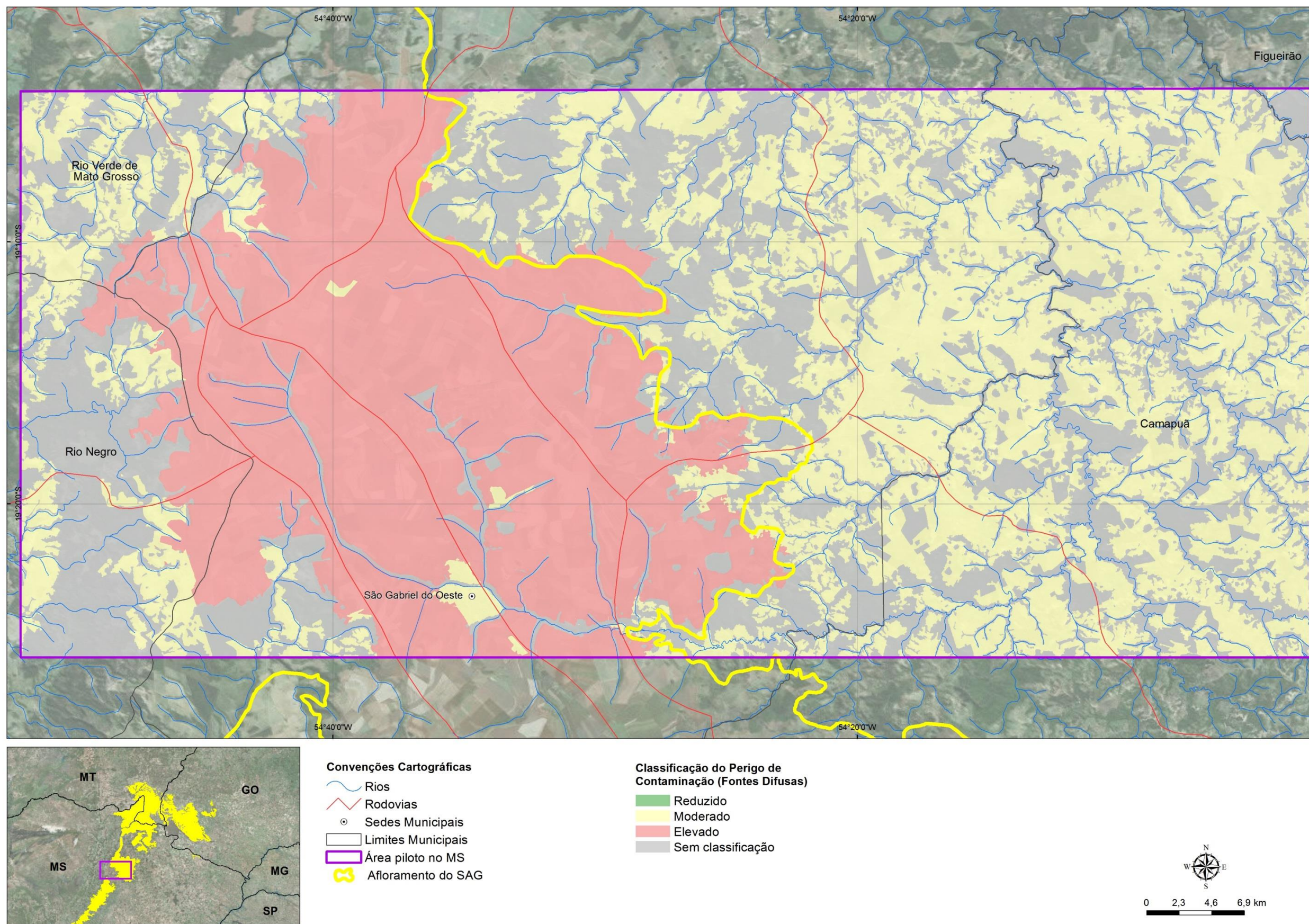


Figura 1.38 – Mapa de fontes potenciais difusas da área piloto de São Gabriel do Oeste.



## 1.5 HIDROQUÍMICA DO SAG NO PILOTO DE SÃO GABRIEL DO OESTE (MS)

O estudo hidroquímico das áreas de afloramento do SAG visou caracterizar e avaliar a qualidade das águas que circulam neste sistema aquífero e identificar problemas de qualidade, tanto de origem antrópica quanto natural, que podem afetar os padrões de potabilidade.

A rede de amostragem na área piloto de São Gabriel do Oeste compreendeu 13 pontos de coleta de águas subterrâneas em poços tubulares localizados nos municípios de Camapuã (3 poços) e São Gabriel do Oeste (10 poços). As coletas foram feitas em duas campanhas, a primeira realizada nos meses de julho a setembro de 2013 e a segunda nos meses de janeiro a março de 2014. Foram analisados parâmetros hidroquímicos, hidrocarbonetos, fenóis, agroquímicos, metais pesados, isótopos de oxigênio e hidrogênio e bacteriológicos (Quadro 1.1, Figura 1.39 e Figura 1.40). As análises hidroquímicas foram repetidas nas duas campanhas, e as demais considerando parâmetros específicos foram realizadas apenas na segunda campanha. O Quadro 1.12 lista os tipos de análise e parâmetros quantificados no estudo.

**QUADRO 1.11 – IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA COLETADAS NA ÁREA PILOTO DE SÃO GABRIEL DO OESTE - MS**

<i>ID Unesp</i>	<i>ID - Cadastro de Campo</i>	<i>Município</i>
<i>GN112</i>	0105N	Camapuã
<i>GN121</i>	0288N	Camapuã
<i>GN123</i>	0291N	Camapuã
<i>GN124</i>	0151N	São Gabriel do Oeste
<i>GN127</i>	0153N	São Gabriel do Oeste
<i>GN128</i>	0152N	São Gabriel do Oeste
<i>GN130</i>	0058N	São Gabriel do Oeste
<i>GN182</i>	PM1	São Gabriel do Oeste
<i>GN183</i>	PM2	São Gabriel do Oeste
<i>GN184</i>	PM3	São Gabriel do Oeste
<i>GN185</i>	PM4	São Gabriel do Oeste
<i>GN186</i>	POÇO ANTENOR (LOTE 55)	São Gabriel do Oeste
<i>GN187</i>	POÇO ROQUE (LOTE 54)	São Gabriel do Oeste

**QUADRO 1.12 – TIPOS DE ANÁLISES E PARÂMETROS QUANTIFICADOS**

<i>Parâmetros de análise</i>	
<i>Tipo</i>	<i>Parâmetros</i>
<i>Hidroquímicas</i>	Temperatura, condutividade elétrica, pH, Eh, cor, turbidez, dureza e STD
	Sódio, potássio, cálcio, magnésio, ferro e manganês
	Cloreto, sulfato, fluoreto, carbonato e bicarbonato
	Amônia, nitrito e nitrato
<i>Derivados de petróleo</i>	BTEX e Fenóis
<i>Metais Pesados</i>	Bário, níquel, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, arsênio, estrôncio e zinco
<i>Isótopos</i>	Oxigênio ( <sup>18</sup> O), Deutério ( <sup>2</sup> H), Trítio ( <sup>3</sup> H) e Estrôncio ( <sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr)
<i>Agroquímicos</i>	Grupo 1 (Glifosfato) Grupo 2 (2,4-D Atrazina) , Grupo 3 (Matamidofós; Carbendazim), Grupo 4 (Acefato) e Grupo 5 (Cipermetrina)
<i>Bacteriológicos</i>	Coliformes fecais e totais

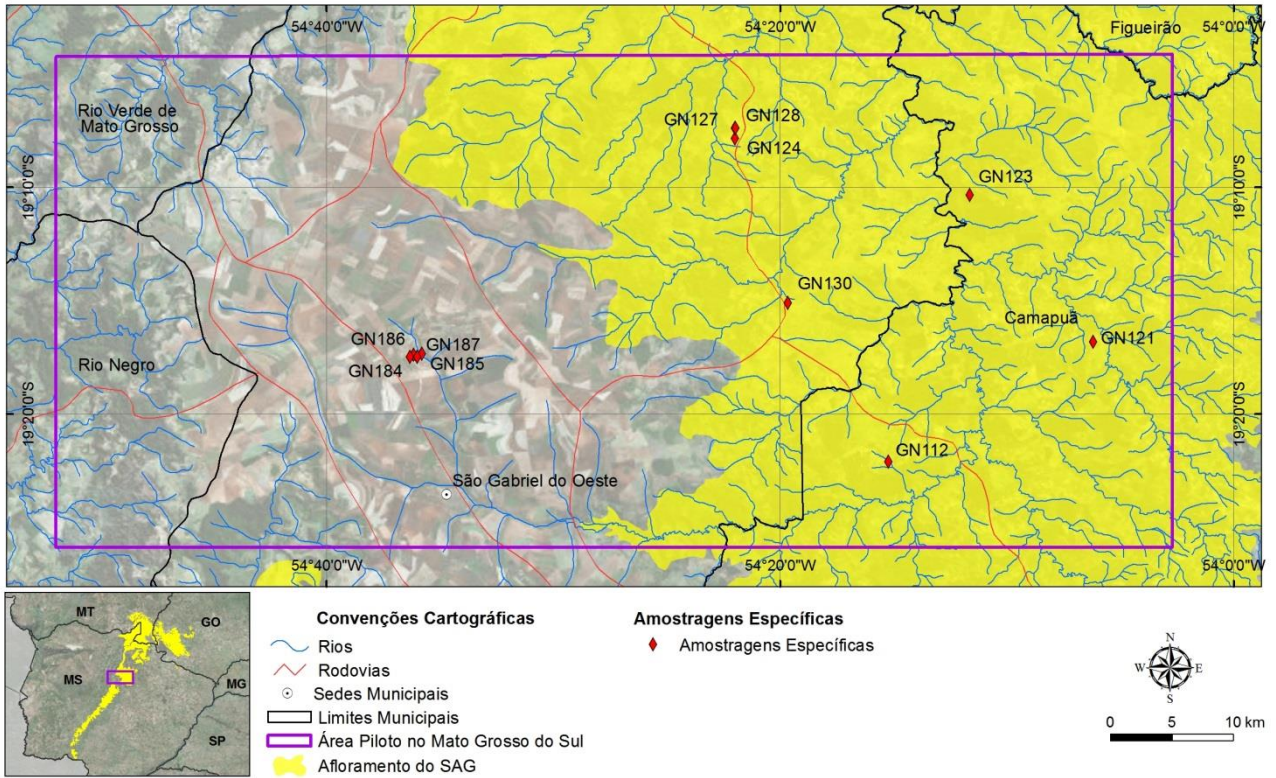


Figura 1.39 – Localização dos pontos amostrados para análises hidroquímicas na área piloto de São Gabriel do Oeste (MS) – Campanhas 1 e 2.

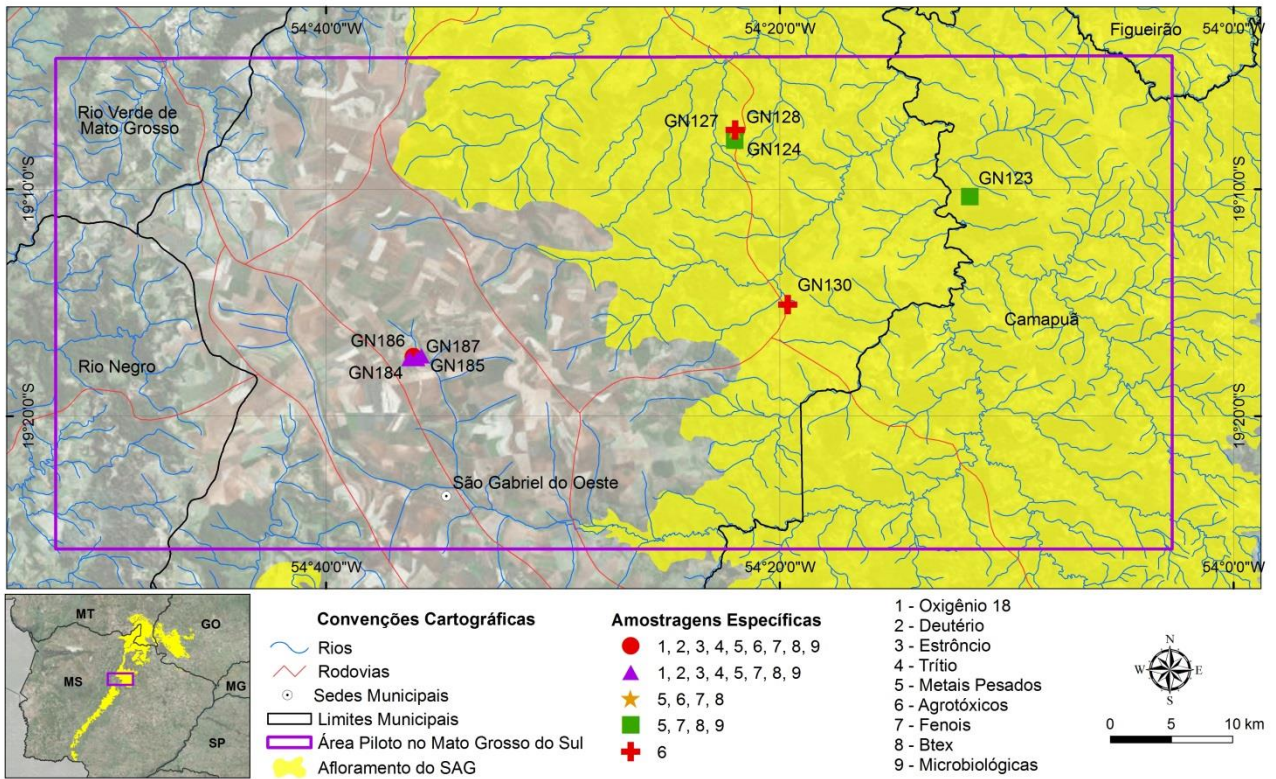


Figura 1.40 – Localização dos pontos amostrados para análises específicas (Agroquímicos, Metais Pesados, Índice de Fenóis, BTEX, Microbiológicas, Isótopos estáveis ( $^{18}O$  e  $^2H$ ), Estrôncio ( $^{87}Sr/^{86}Sr$ ) e Trítio ( $^3H$ ) na área piloto de São Gabriel do Oeste (MS) – Campanha 2.

A classificação dos tipos hidroquímicos foi feita com base em diagramas de Stiff e de Piper. A especiação e a modelagem hidroquímica foram obtidas com o uso do software PHREEQC (Parkhurst & Apello, 1999).

### 1.5.1 Resultados das análises hidroquímicas

O Quadro 1.13 apresenta os principais parâmetros hidroquímicos analisados na área piloto de São Gabriel do Oeste, nas duas campanhas de amostragem.

Os valores de pH das amostras de água oscilaram entre 5,8 a 7,6, sendo as medianas de 6,4 e 6,3, respectivamente na primeira e segunda campanhas (Figura 1.41). As águas são predominantemente ácidas devido à baixa concentração de bicarbonatos e carbonatos nessas amostras. Os valores de condutividade elétrica situaram-se entre 3,14  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 263  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Figura 1.42), com mediana de 27  $\mu\text{S}/\text{cm}$  nas duas campanhas, revelando águas com baixas concentrações iônicas. Observa-se, também, que não há diferenças expressivas entre os resultados das duas campanhas de amostragem (Quadro 1.13, Figura 1.41 e Figura 1.42).

**QUADRO 1.13 – PRINCIPAIS PARÂMETROS ANALISADOS NAS CAMPANHAS DE AMOSTRAGENS**

1ª Campanha																	
Nº Unesp	CE	pH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Fe	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>3</sub>	Mn	Si
	$\mu\text{S}/\text{cm}$		mg/L														
GN112	27,4	6,8	13,1	0,0	0,0	0,3	0,0	1,8	0,0	0,3	6,1	1,0	< 0,005	0,6	0,0	0,0	9,8
GN121	234,0	7,6	153,0	0,0	0,1	0,1	< 0,020	1,1	< 0,020	0,4	5,7	46,0	< 0,005	1,2	0,0	< 0,001	14,9
GN123	51,5	6,3	8,7	0,0	< 0,010	0,6	0,1	16,2	< 0,020	0,4	7,3	2,2	0,0	1,6	0,0	0,0	15,0
GN124	34,3	6,5	11,2	0,0	< 0,010	0,4	0,0	5,7	< 0,020	0,4	7,4	0,7	< 0,005	0,8	0,0	0,0	12,3
GN127	33,9	6,4	19,6	0,0	0,0	0,1	< 0,020	0,3	< 0,020	0,7	6,7	1,3	< 0,005	1,1	0,0	< 0,001	13,0
GN128	33,8	6,5	19,7	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	< 0,020	0,7	6,7	1,4	< 0,005	1,1	0,0	< 0,001	13,0
GN130	38,4	7,3	21,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	< 0,020	0,5	5,8	2,9	< 0,005	1,0	0,0	< 0,001	16,0
GN182	13,7	6,5	4,1	0,0	< 0,010	0,3	0,1	1,9	0,3	0,6	0,3	1,3	< 0,005	0,3	0,1	0,0	4,8
GN183	4,4	5,8	1,3	0,0	< 0,010	0,1	< 0,020	0,5	0,1	0,2	0,2	0,2	< 0,005	0,0	0,0	0,0	2,5
GN184	7,0	6,3	4,0	0,0	< 0,010	0,1	< 0,020	0,2	0,1	0,8	< 0,030	0,5	< 0,005	0,1	0,0	0,0	3,0
GN185	3,1	6,1	1,9	0,0	< 0,010	0,0	< 0,020	0,1	0,0	0,4	< 0,030	0,2	< 0,005	0,1	0,0	0,0	2,0
GN186	4,5	6,1	2,6	0,0	< 0,010	< 0,010	< 0,020	0,0	< 0,020	0,2	< 0,030	0,3	< 0,005	0,2	0,0	0,0	5,0
GN187	3,6	6,1	1,9	0,0	< 0,010	0,0	< 0,020	0,0	0,0	0,2	< 0,030	0,3	< 0,005	0,1	0,0	0,0	3,1
2ª Campanha																	
Nº Unesp	CE	pH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Fe	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>3</sub>	Mn	Si
	$\mu\text{S}/\text{cm}$		mg/L														
GN112	27,0	6,4	12,7	0,0	< 0,010	0,2	< 0,020	1,5	< 0,020	0,3	6,2	0,9	< 0,005	0,6	0,0	< 0,001	7,9
GN121	263,0	7,2	166,0	0,0	0,1	0,2	< 0,020	0,6	< 0,020	0,5	5,4	54,3	0,0	1,4	0,0	< 0,001	11,5
GN123	46,8	5,8	9,7	0,0	< 0,010	0,5	< 0,020	12,8	< 0,020	0,4	7,0	2,3	0,0	1,4	0,0	< 0,001	11,9
GN124	38,1	6,1	10,4	0,0	< 0,010	0,7	< 0,020	7,4	< 0,020	0,4	8,0	0,9	0,0	0,9	0,0	0,0	9,5
GN127	34,9	6,1	19,5	0,0	0,0	0,1	< 0,020	0,2	< 0,020	0,7	6,9	1,4	0,0	1,1	0,0	< 0,001	10,3
GN128	35,5	6,1	19,3	0,0	< 0,010	0,1	0,0	0,3	0,0	0,7	6,9	1,2	0,0	1,0	0,0	< 0,001	10,5
GN130	39,7	6,8	21,1	0,0	0,1	0,0	< 0,020	0,3	< 0,020	0,5	5,8	3,4	0,0	1,0	0,0	< 0,001	12,8
GN182	11,4	6,0	5,7	0,0	< 0,010	0,1	< 0,020	< 0,040	0,1	0,4	< 0,030	1,6	< 0,005	0,2	0,0	0,0	3,2
GN183	4,9	6,2	1,9	0,0	< 0,010	0,1	< 0,020	0,2	0,1	0,2	< 0,030	0,5	< 0,005	0,0	0,0	0,0	1,7
GN184	7,5	6,6	4,1	0,0	< 0,010	0,1	< 0,020	< 0,040	< 0,020	0,9	< 0,030	0,5	< 0,005	0,1	0,0	0,0	4,2
GN185	8,6	6,5	3,3	0,0	< 0,010	0,4	< 0,020	0,2	0,1	0,4	0,1	0,8	< 0,005	0,1	0,0	0,0	3,0
GN186	5,9	6,3	2,8	0,0	< 0,010	0,0	< 0,020	0,1	0,1	0,2	< 0,030	0,3	< 0,005	0,2	0,0	0,0	3,5
GN187	5,0	6,3	3,1	0,0	< 0,010	< 0,010	< 0,020	< 0,040	< 0,020	0,2	< 0,030	0,6	0,0	0,2	0,0	0,0	2,9

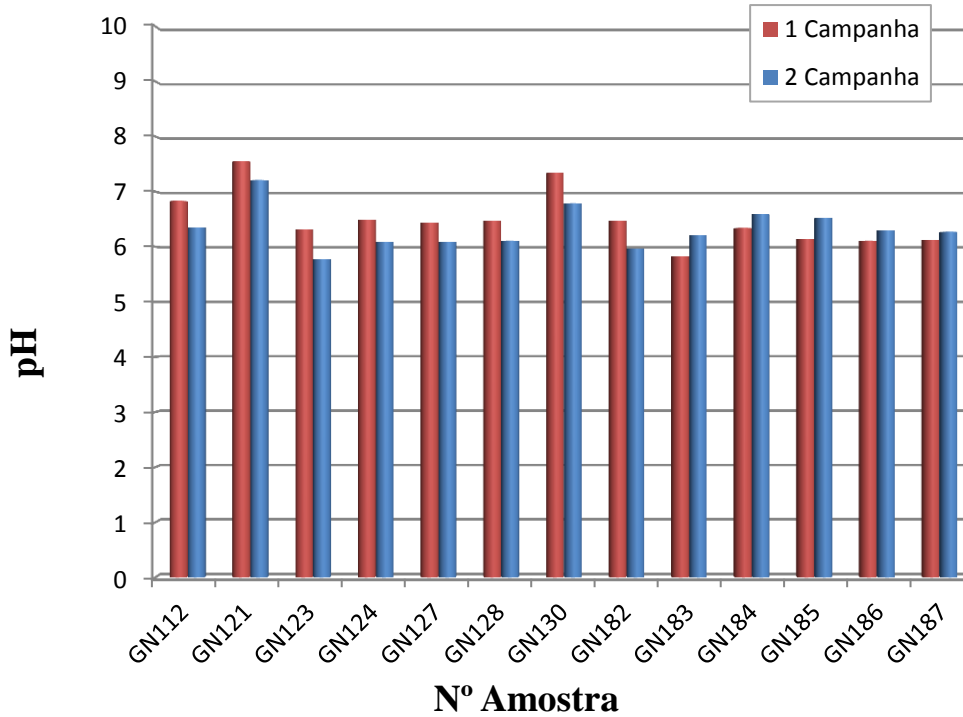


Figura 1.41 – Valores de pH de amostras de águas da área piloto de São Gabriel do Oeste – MS – 1ª e 2ª campanhas.

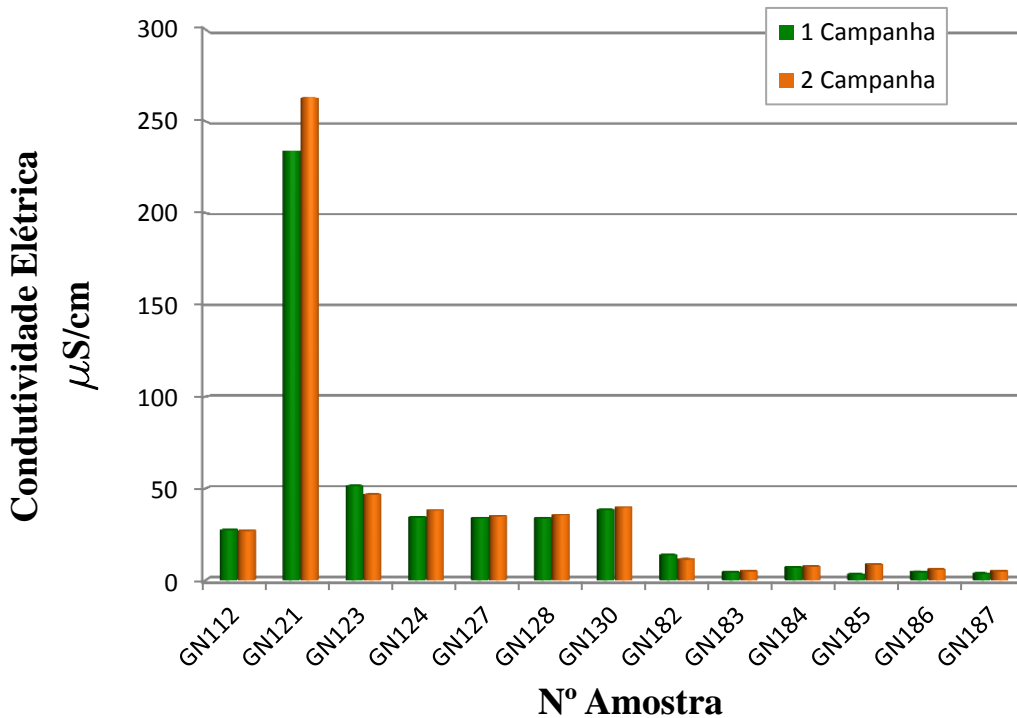


Figura 1.42 - Condutividade elétrica (CE) de amostras de águas da área piloto de São Gabriel do Oeste – MS – 1ª e 2ª campanhas.

Considerando-se as concentrações das amostras de água nas duas campanhas de amostragens da área piloto, a relação iônica é  $HCO_3 \gg NO_3 \geq Cl > SO_4 \geq CO_3$  para os ânions (Figura 1.43), e  $Si \gg K > Ca > Mg \geq Na$  para os cátions (Figura 1.44).

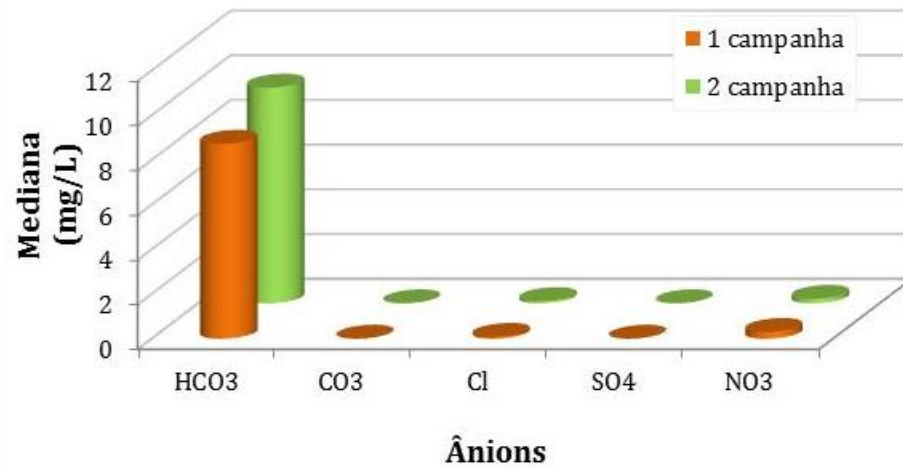


Figura 1.43 - Distribuição dos ânions nas águas subterrâneas da área piloto de São Gabriel do Oeste – MS – 1ª e 2ª campanhas.

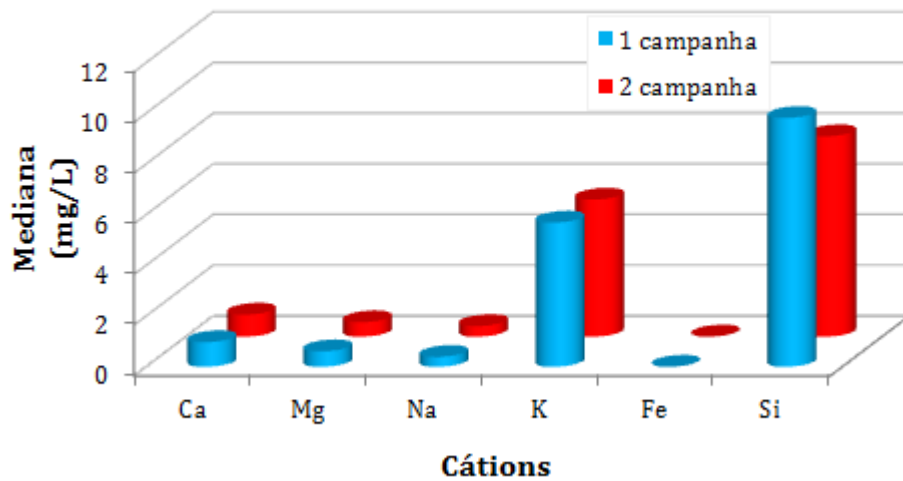


Figura 1.44 - Distribuição dos cátions nas águas subterrâneas da área piloto de São Gabriel do Oeste – MS – 1ª e 2ª campanhas.

### 1.5.2 Classificação das águas subterrâneas do SAG na área piloto de São Gabriel do Oeste

As águas subterrâneas da área piloto do Mato Grosso do Sul foram classificadas, nas duas campanhas de amostragens, como bicarbonatadas cálcicas (54%) ou sódicas (46%). Apenas um poço (GN185) não repetiu a mesma classificação nas duas campanhas, passando de bicarbonatada sódica (1ª campanha) a bicarbonatada cálcica (2ª campanha), em razão da baixa concentração iônica e das proporções iônicas similares entre os principais elementos constituintes, podendo assim ser classificada como água mista (Quadro 1.14).

**QUADRO 1.14 – TIPOS HIDROQUÍMICOS PREDOMINANTES NA ÁREA PILOTO DE SÃO GABRIEL DO OESTE (MS)**

Nº Unesp	Município	1º Campanha	2º Campanha
GN112	Camapuã	Bicarbonatada Sódica	Bicarbonatada Sódica
GN121	Camapuã	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
GN123	Camapuã	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
GN124	São Gabriel do Oeste	Bicarbonatada Sódica	Bicarbonatada Sódica
GN127	São Gabriel do Oeste	Bicarbonatada Sódica	Bicarbonatada Sódica
GN128	São Gabriel do Oeste	Bicarbonatada Sódica	Bicarbonatada Sódica
GN130	São Gabriel do Oeste	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
GN182	São Gabriel do Oeste	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
GN183	São Gabriel do Oeste	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
GN184	São Gabriel do Oeste	Bicarbonatada Sódica	Bicarbonatada Sódica
GN185	São Gabriel do Oeste	Bicarbonatada Sódica	Bicarbonatada Cálcica
GN186	São Gabriel do Oeste	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
GN187	São Gabriel do Oeste	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica

### 1.5.3 Parâmetros hidroquímicos acima dos Valores Máximos Permitidos

Dentre os 13 poços amostrados na área piloto de São Gabriel do Oeste, nas duas campanhas de coleta, apenas um deles (GN183) apresentou um parâmetro com valor acima do máximo permitido pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde. O chumbo, nessa amostra, apresentou concentração de 0,02 mg/L (VMP=0,01 mg/L de Pb). Ressalta-se que as análises de metais pesados foram realizadas em apenas 9 das 13 amostras.

### 1.5.4 Parâmetros específicos

#### 1.5.4.1 Metais pesados

Na área piloto do Mato Grosso do Sul foram selecionadas 9 pontos para análise dos metais bário, cádmio, cromo, cobre, níquel, chumbo, zinco, estrôncio, arsênio e mercúrio (Quadro 1.15).

**QUADRO 1.15 – METAIS PESADOS NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA ÁREA PILOTO DE SÃO GABRIEL DO OESTE (MS)**

Nº Unesp	Bário	Cádmio	Cromo	Cobre	Níquel	Chumbo	Zinco	Estrôncio	Arsênio	Mercúrio
	mg/L								ug/L	
GN123	0,12	< 0,005	< 0,003	0,006	< 0,003	< 0,005	< 0,005	0,007	<LQ	<LQ
GN124	0,096	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	< 0,005	0,008	<LQ	<LQ
GN127	0,034	< 0,005	< 0,003	0,005	< 0,003	< 0,005	< 0,005	0,008	<LQ	<LQ
GN182	0,011	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	0,005	0,014	0,007	<LQ	<LQ
GN183	0,005	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	0,02	0,011	< 0,005	<LQ	<LQ
GN184	0,011	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	0,01	0,006	< 0,005	<LQ	<LQ
GN185	0,004	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	0,015	< 0,005	<LQ	<LQ
GN186	0,009	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	< 0,005	< 0,005	<LQ	<LQ
GN187	0,006	< 0,005	< 0,003	0,008	< 0,003	< 0,005	0,006	< 0,005	<LQ	<LQ
VMP	<b>0,7</b>	<b>0,005</b>	<b>0,05</b>	<b>2</b>	<b>0,07</b>	<b>0,01</b>	<b>5</b>	<b>ND</b>	<b>10</b>	<b>1</b>

Todas as amostras apresentaram valores dentro dos limites de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde para bário, cádmio, cromo, cobre, níquel, zinco, arsênio e mercúrio. Para o estrôncio, a Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde não tem um valor máximo estabelecido. Para o chumbo, apenas a amostra GN183 apresentou teor acima do limite máximo permitido.

#### 1.5.4.2 Agroquímicos

As amostras selecionadas para análises de agroquímicos foram divididas em grupos, conforme o uso do solo (Quadro 1.16). Para a área piloto do Mato Grosso do Sul, foram realizadas análises dos grupos 1 ao 3, em 4 pontos selecionados (GN127, GN128, GN130 e GN187).

Os resultados das análises mostraram que todas as amostras apresentaram teores abaixo do limite da técnica empregada para detecção. Uma amostra (GN133) do município de São Gabriel do Oeste (MS) apresentou valores de 0,9 µg/L para 3+4-metilfenol (m+p-cresol) e 0,9 µg/L para cresóis totais, porém não está inserida nos limites da área piloto. A Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde não estabelece valores limites para estes dois compostos.

**QUADRO 1.16– GRUPOS DE PARÂMETROS SELECIONADOS PARA ANÁLISES DE AGROQUÍMICOS NA ÁREA PILOTO DO MATO GROSSO DO SUL**

LOCAL	QUANTIDADE DE AMOSTRAS	GRUPO DE PARÂMETROS		
Área Piloto MS	4	1	2	3
<b>GRUPOS</b>	<b>PARÂMETROS</b>			
1	Glifosato + AMPA			
2	1,2,3,4-Tetraclorobenzeno, 1,2,3,5-Tetraclorobenzeno, 2,3,4,5-Tetraclorofenol, 2,3,4,6-Tetraclorofenol, 2,4,5-T, 2,4,5-TP, 2,4,5-Triclorofenol, 2,4,6-Triclorofenol, 2,4-D, 2,4-D + 2,4,5-T, 2,4-Dinitrotolueno, 2-Metilfenol (o-Cresol), 3,4-Diclorofenol, 3+4-Metilfenol (m+p-Cresol), Alaclor, Aldrin + Dieldrin, Atrazina, Bentazona, Benzo(a)pireno, BHC Alfa, BHC Beta, BHC Delta, Cis Clordano (Alfa Clordano), Clordano (isômeros), Cresóis Totais, DDT (isômeros), Di(2-etilhexil)ftalato, Dieldrin, Dodecacloro+Nonacloro, Dodecacloropentaciclodecano, Endossulfan, Endossulfan - ALFA, Endossulfan - BETA, Endossulfan (a, b e sulfato), Endossulfan Sulfato, Endrin, Endrin Aldeído, Endrin Ketone, Fenol, HCH Beta, Heptacloro e Heptacloro Epóxido, Hexaclorobenzeno, Hexaclorobutadieno, Hexacloroetano, Isodrin, Lindano (g-BHC), Lindano (g-HCH), Metolacloro, Metoxicloro, Molinato, Naftaleno, Nitrobenzeno, p,p'-DDT + p,p'-DDD + p,p'-DDE, Pendimetalina, Pentaclorofenol, Permetrina, Propanil, Simazina, Terbufós, Tetraclorobenzenos, Trans Clordano (Gama Clordano), trans-Nonacloro, Benzo(b)fluoranteno, Benzo(k)fluoranteno, Criseno, Acenafteno, Acenaftileno, Fluoreno, Antraceno, Benzo(g,h,i)perileno, Pireno, Fenantreno, Dibenzo(a,h)antraceno, Indeno(1,2,3,cd)pireno, Fluoranteno, Benzo(a)antraceno, Total de PAHs, Heptacloro Epóxido			
3	Aldicarb + Aldicarb Sulfona + Aldicarb Sulfóxido, Aldicarb, Aldicarb Sulfona, Aldicarb Sulfóxido, Benomil, Carbendazim, Carbendazim + Benomil, Carbofurano, Clorpirifós + Clorpirifós-oxon, Diuron, Metamidofós, Parationa Metilica, Profenofós, Tebuconazol, Clorpirifós, Clorpirifós-oxon			

### 1.5.4.3 Índice de Fenóis

A principal fonte de fenóis para as águas subterrâneas são as descargas de efluentes industriais. Os fenóis são tóxicos aos humanos e aos organismos aquáticos. Quando presentes na água tratada para abastecimento público, os fenóis reagem com o cloro livre formando os clorofenóis, que imprimem sabor e odor à água.

Os limites máximos permitidos para compostos de fenóis não estão claramente definidos na legislação brasileira. A Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde não estabelece Valor Máximo Permitido para índice de fenol na água para consumo humano, sendo que os valores indicados nesta Portaria são para pentaclorofenol (9 µg/L) e triclorofenol (0,2 mg/L). A Resolução CONAMA nº 396/2008 (classificação e diretrizes ambientais das águas subterrâneas) estabelece valores máximos para índice de fenóis de 3 µg/L para consumo humano, 2 µg/L para dessedentação de animais e 2 µg/L para recreação.

No entanto, o Limite de Quantificação Praticável (LQP) da portaria, que é a menor quantidade de uma substância que pode ser determinada quantitativamente com precisão e exatidão, é de 10 µg/L.

Na área de piloto de São Gabriel do Oeste foram selecionados 9 pontos para amostragens de água para análise de índices de fenóis (Quadro 1.17). Das 9 amostras, 8 são de São Gabriel do Oeste e 1 de Camapuã.

**QUADRO 1.17– ÍNDICES DE FENÓIS NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA ÁREA PILOTO DE SÃO GABRIEL DO OESTE (MS)**

<i>Nº Unesp</i>	<i>Município</i>	<i>Ind. Fenóis (mg/L)</i>
GN123	Camapuã	<0,001
GN124	São Gabriel do Oeste	<b>0,003</b>
GN127	São Gabriel do Oeste	<b>0,001</b>
GN182	São Gabriel do Oeste	<0,001
GN183	São Gabriel do Oeste	<0,001
GN184	São Gabriel do Oeste	<0,001
GN185	São Gabriel do Oeste	<0,001
GN186	São Gabriel do Oeste	<0,001
GN187	São Gabriel do Oeste	<0,001
<i>&lt; = abaixo o limite da técnica empregada para detecção</i>		

Com exceção de 2 amostras com índices de fenóis com teores de 0,003 mg/L (GN124) e 0,001 mg/L (GN127), as demais amostras ficaram com teores abaixo do limite de detecção da técnica empregada. Segundo a Resolução CONAMA nº 20/1998, águas com valores de fenóis entre 1 µg/L e 30 µg/L devem ser previamente tratadas para uso e, acima de 30 µg/L, não devem ser utilizadas.



#### 1.5.4.4 BTEX

BTEX (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, o-Xileno e m.p-Xileno) são hidrocarbonetos aromáticos derivados do petróleo, formados por uma mistura complexa de compostos orgânicos. Os BTEX são extremamente tóxicos e comumente contaminam o ambiente. São indicadores úteis da quantidade de hidrocarboneto resultante de vazamentos relativamente recentes.

Para análise do teor de BTEX nas águas subterrâneas da área piloto de São Gabriel do Oeste foram selecionados 9 poços, sendo oito em São Gabriel do Oeste e 1 poço em Camapuã.

A Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, bem como a Resolução CONAMA nº 396/2008, estabelecem valores máximos de 0,005 mg/L de benzeno, 0,17 mg/L de tolueno, 0,2 mg/L de etilbenzeno, e 0,3 mg/L de o-xileno, m,p-xileno e xileno em água para consumo humano. Todas as amostras analisadas para BTEX apresentaram valores inferiores aos máximos permitidos na legislação vigente. Cabe também ressaltar que todas as análises estão abaixo do limite da técnica empregada para detecção desses compostos orgânicos (Quadro 1.18).

**QUADRO 1.18 – BTEX NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA ÁREA PILOTO DE SÃO GABRIEL DO OESTE (MS)**

Nº Unesp	Município	Benzeno	Tolueno	Etilbenzeno	o-Xileno	m.p-Xileno
		mg/L				
GN123	Camapuã	<1	<1	<1	<1	<2
GN124	São Gabriel do Oeste	<1	<1	<1	<1	<2
GN127	São Gabriel do Oeste	<1	<1	<1	<1	<2
GN182	São Gabriel do Oeste	<1	<1	<1	<1	<2
GN183	São Gabriel do Oeste	<1	<1	<1	<1	<2
GN184	São Gabriel do Oeste	<1	<1	<1	<1	<2
GN185	São Gabriel do Oeste	<1	<1	<1	<1	<2
GN186	São Gabriel do Oeste	<1	<1	<1	<1	<2
GN187	São Gabriel do Oeste	<1	<1	<1	<1	<2

**< = abaixo o limite da técnica empregada para detecção**

#### 1.5.4.5 Conteúdo Microbiológico

Na área piloto de Mato Grosso do Sul foram selecionados 8 poços para análise do conteúdo microbiológico das águas subterrâneas do SAG aflorante. Foram amostrados 7 poços em São Gabriel do Oeste e 1 poço em Camapuã.

A Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde e a Resolução CONAMA nº 396/2008 estabelecem para a água de consumo humano conteúdo bacteriológico (coliformes totais e fecais) ausente em 100 ml de amostra. Dentre as amostras analisadas, 6 apresentaram resultados positivos para coliformes totais, sendo 5 localizadas em São Gabriel do Oeste e uma em Camapuã. Com relação aos coliformes fecais, todas as amostras analisadas apresentaram resultados negativos (Quadro 1.19).

Dentre as amostras que apresentaram resultados bacteriológicos positivos, apenas a GN123 mostrou concentração relativamente elevada de nitrato (Figura 1.45), porém sem ultrapassar o Valor Máximo Permitido (44 mg/L) pela Portaria nº 2.914/2011/MS. Todos os poços amostrados encontram-se na zona rural dos municípios.

**QUADRO 1.19 – CONTEÚDO BACTERIOLÓGICO DAS ÁGUAS ÁREA PILOTO DE SÃO GABRIEL DO OESTE (MS)**

Nº Unesp	Município	Zona	COLIFORMES TOTAIS (100ml)	ESCHERICHIA COLI (100ml)
GN123	Camapuã	Rural	Presente	Ausente
GN124	São Gabriel do Oeste	Rural	Ausente	Ausente
GN182	São Gabriel do Oeste	Rural	Presente	Ausente
GN183	São Gabriel do Oeste	Rural	Presente	Ausente
GN184	São Gabriel do Oeste	Rural	Presente	Ausente
GN185	São Gabriel do Oeste	Rural	Presente	Ausente
GN186	São Gabriel do Oeste	Rural	Presente	Ausente
GN187	São Gabriel do Oeste	Rural	Ausente	Ausente

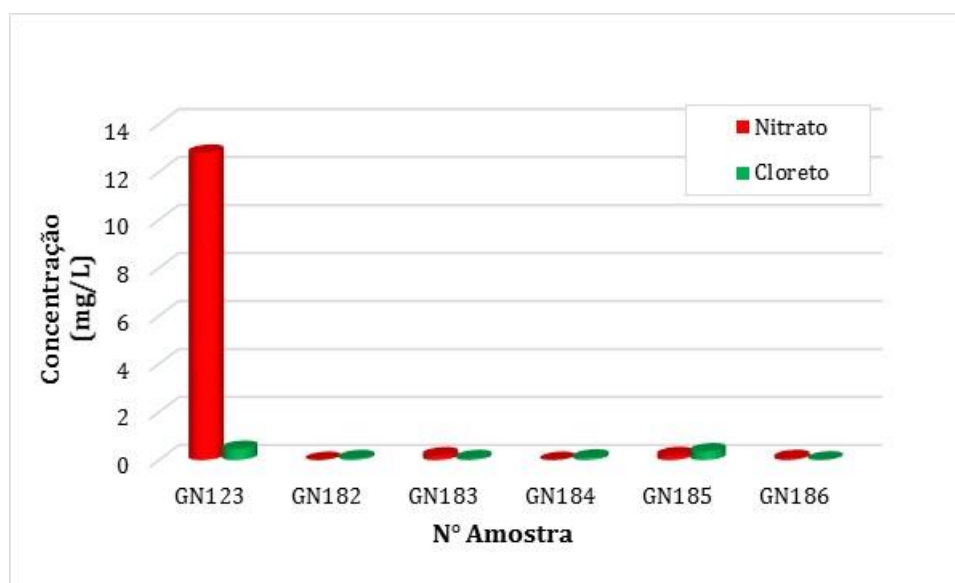


Figura 1.45 – Concentrações de nitrato e cloreto nas amostras com resultados positivos para conteúdo bacteriológico.

#### 1.5.4.6 Isótopos estáveis de oxigênio ( $\delta^{18}\text{O}$ ) e deutério ( $\delta^2\text{H}$ )

O hidrogênio e o oxigênio da água ocorrem com diferentes combinações isotópicas em suas moléculas. Mais comum e de maior interesse para hidroquímica são as moléculas  $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$  (comum),  $^1\text{H}^{16}\text{O}$  (raro) e  $^1\text{H}_2^{18}\text{O}$  (raro), a primeira conhecida como molécula leve e as duas últimas como moléculas pesadas.

As moléculas leves de água evaporam mais rapidamente do que as moléculas pesadas e, à medida que a evaporação se processa, a água remanescente se enriquece em isótopos pesados, tornando o vapor relativamente mais leve.

A composição isotópica da água é expressa em relação à composição isotópica média da água do oceano (Craig, 1961), de acordo com um padrão internacional denominado *Standard Mean Ocean Water* (SMOW) e, atualmente, segundo outro padrão designado *Viena Standard Mean Ocean Water* (VSMOW). A diferença entre a razão isotópica da água e deste padrão, determinada por espectrômetro de massa ou por espectroscopia em cavidade ressonante tipo *ring-down* (CRDS, *cavity ring-down spectroscopy*), é expressa em partes por mil (‰). A razão de deutério é representada por  $\delta D$ , e de  $^{18}O$ , por  $\delta^{18}O$ , conforme demonstrada a seguir:

$$\delta D_{\text{amostra}} \text{ ‰} = \frac{(D/H)_{\text{amostra}} - (D/H)_{\text{SMOW}}}{(D/H)_{\text{SMOW}}} \times 1000$$

(Equação 1.1)

$$\delta O^{18}_{\text{amostra}} \text{ ‰} = \frac{(O^{18}/O^{16})_{\text{amostra}} - (O^{18}/O^{16})_{\text{SMOW}}}{(O^{18}/O^{16})_{\text{SMOW}}} \times 1000$$

Água com menos deutério que SMOW apresenta  $\delta D$  negativo; água com mais deutério que SMOW apresenta  $\delta D$  positivo. O mesmo ocorre com o  $\delta^{18}O$ . O ciclo hidrológico global mostra correlação linear entre  $\delta^{18}O$  e  $\delta D$ . Essa relação resulta de vários processos de fracionamento, como resultado das mudanças de fases, de temperatura, circulação atmosférica global, e destilação da massa de vapor de água durante a chuva (Gat, 1980).

Foram coletadas, na segunda campanha, seis amostras de água na área piloto do SAG no Mato Grosso do Sul, para análise dos isótopos  $^{18}O$  e deutério (Quadro 1.20). As razões isotópicas das análises de  $\delta^{18}O$  variam no intervalo de  $-6,97\text{‰}$  a  $-5,66\text{‰}$ , enquanto que os resultados de  $\delta D$  oscilaram entre  $-43,3\text{‰}$  e  $-35,6\text{‰}$ .

**QUADRO 1.20 – ISÓTOPOS DE  $O^{18}$  E DEUTÉRIO EM ÁGUAS DO SAG NA ÁREA PILOTO DE SÃO GABRIEL DO OESTE (MS)**

Nº Unesp	Município	UF	$\delta^{18}O$ (‰)	$\delta^3D$ (‰)
GN182	São Gabriel do Oeste	MS	-6,11	-41,5
GN183	São Gabriel do Oeste	MS	-5,79	-38,8
GN184	São Gabriel do Oeste	MS	-6,97	-43,3
GN185	São Gabriel do Oeste	MS	-5,78	-36,1
GN186	São Gabriel do Oeste	MS	-5,66	-35,6
GN187	São Gabriel do Oeste	MS	-5,74	-36,5

Observa-se que a maioria das amostras de água do SAG da área piloto do Mato Grosso do Sul tem composição isotópica próxima à da Linha Meteórica Global (LMG), confirmando sua origem meteórica (Figura 1.46).

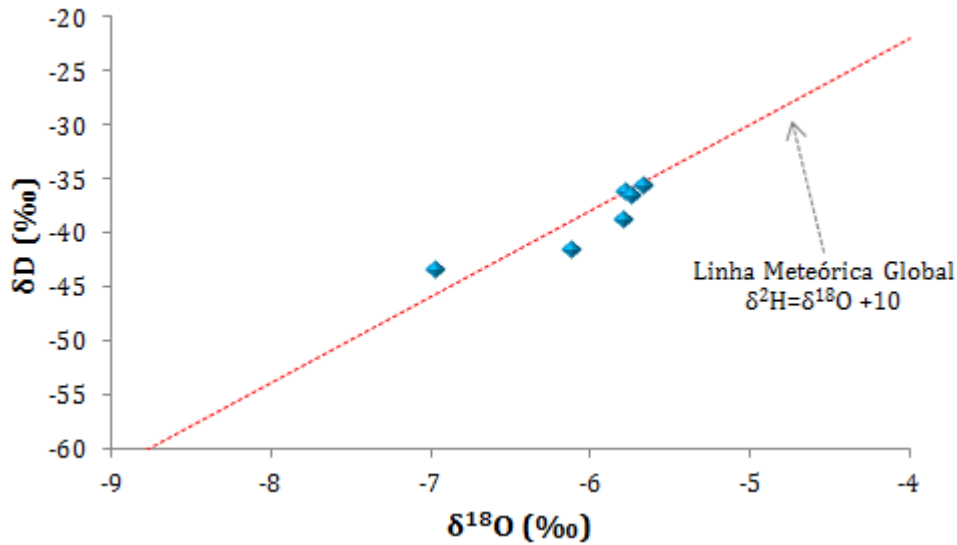


Figura 1.46 - Relação de  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^2\text{H}$  para as amostras de águas coletadas na área piloto de São Gabriel do Oeste (MS)

#### 1.5.4.7 Isótopos estáveis de estrôncio

O estrôncio é um cátion bivalente que substitui facilmente o  $\text{Ca}^{+2}$  em carbonatos, sulfatos, feldspatos, entre outros minerais. Assim como o cálcio, o estrôncio participa nas reações água-rocha e constitui um componente minoritário da maioria das águas subterrâneas. Isótopos de estrôncio  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  tem sido indicadores úteis sobre a interação água-rocha, como traçadores dos caminhos de águas subterrâneas e origens de salinidade (Clark & Fritz, 1999).

A abundância de  $^{87}\text{Sr}$  está diretamente ligada à geoquímica do potássio, o qual é facilmente substituído pelo  $\text{Rb}^+$ . Deste modo, rochas ricas em K terão altas concentrações de  $^{87}\text{Rb}$  e  $^{87}\text{Sr}$  e isso é refletido na razão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  da água com quem elas estão em contato. Portanto, águas subterrâneas que estão geoquimicamente envolvidas em distintos terrenos geológicos terão razões isotópicas de estrôncio contrastantes.

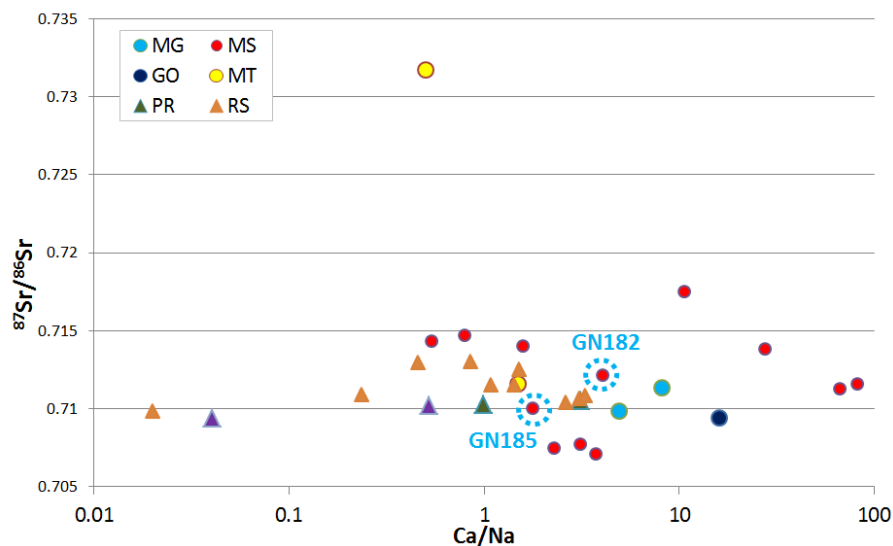
Foram realizadas análises de isótopos estáveis de estrôncio em 6 amostras de águas do SAG na área piloto de São Gabriel do Oeste, das quais 5 amostras possuem concentração de Sr abaixo de 0,005 mg/L (GN183, GN184, GN185, GN186 e GN187). Os resultados estão agrupados no Quadro 1.21, que também apresenta a identificação, a localização e a profundidade de coleta das amostras, além de alguns parâmetros hidroquímicos relevantes.

**QUADRO 1.21 - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  DE AMOSTRAS DE ÁGUA DO SAG NA ÁREA PILOTO DE SÃO GABRIEL DO OESTE (MS)**

Nº Unesp	Município	UF	Prof. (m)	Zona	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \pm 2\text{SE}$	Sr (mg/L)	Ca (mg/L)	O18	H2	$\text{NO}_3^-$
GN182	São Gabriel do Oeste	MS	20	Rural	0,71210+/-1	0,007	1,59	-6,11	-41,5	0
GN183	São Gabriel do Oeste	MS	16	Rural	N.D.	< 0,005	0,47	-5,79	-38,8	0.19
GN184	São Gabriel do Oeste	MS	16	Rural	N.D.	< 0,005	0,49	-6,97	-43,3	0
GN185	São Gabriel do Oeste	MS	8	Rural	0,70998+/-2	< 0,005	0,75	-5,78	-36,1	0.2
GN186	São Gabriel do Oeste	MS	60	Rural	N.D.	< 0,005	0,33	-5,66	-35,6	0.08
GN187	São Gabriel do Oeste	MS	26	Rural	N.D.	< 0,005	0,57	-5,74	-36,5	0

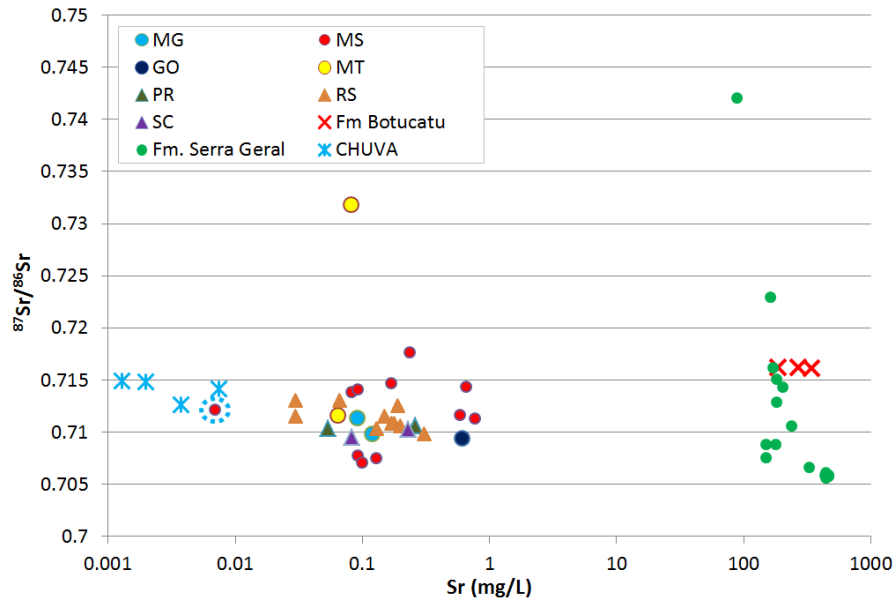
Dentre as 6 amostras analisadas, apenas a GN182 mostrou concentração de estrôncio acima do limite de detecção da técnica empregada para análise. Assim, não foi possível estabelecer uma correlação entre concentração de estrôncio e de outros parâmetros como STD (sólidos totais dissolvidos), bicarbonato e nitrato, especificamente para a área piloto. As baixas concentrações de estrôncio nestas águas, com valores similares às das águas de chuva, indicam pouca interação água-rocha.

Os dados isotópicos foram lançados em um gráfico de dispersão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  versus Ca/Na (Figura 1.47), onde pode-se observar que as águas analisadas apresentaram padrão semelhante às demais amostras do SAG, ou seja, não possuem indicativos de uma geologia ou fonte distinta do sistema aquífero.



**Figura 1.47 - Gráfico de dispersão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  vs. Ca/Na de amostras de água do SAG coletadas neste estudo, com indicação das amostras da área piloto de São Gabriel do Oeste (MS).**

Os dados isotópicos foram lançados em um gráfico de dispersão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  versus Sr (mg/L) (Figura 1.48), juntamente com os resultados de análises de isótopos de estrôncio de amostras de água de chuva (Martins, 2008) e de amostras de rochas da Bacia do Paraná (Gilg et al., 2003; Fodor et al., 1985).



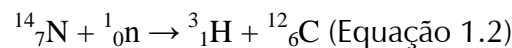
**Figura 1.48 - Gráfico de dispersão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  vs. Sr (mg/L) com resultados integrados de análises de água de chuva e de rochas da Bacia do Paraná encontrados na bibliografia, com a indicação da amostra GN182 da área piloto de São Gabriel do Oeste (MS).**

Pode-se observar que a amostra GN182 possui concentração de Sr muito baixa e assinatura isotópica  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  semelhante às demais amostras do SAG. A amostra GN185 possui concentração de estrôncio inferior ao limite de detecção da técnica de análise ( $< 0,005$  mg/L, semelhante às águas de chuva), por isso não foi representada neste gráfico.

A integração destes resultados permite concluir que as amostras de água coletadas no piloto de São Gabriel do Oeste (MS) possuem assinaturas isotópicas de estrôncio similares às de águas de chuva, com concentrações muito baixas e baixa condutividade elétrica.

#### 1.5.4.8 Trítio

O Trítio ( $^3\text{H}$ ) tem sido utilizado na datação de águas com até 50 anos em razão de sua meia-vida de 12,43 anos, que permite a estimativa da idade de águas jovens. Os isótopos de Trítio são produzidos na alta atmosfera por reações nucleares de bombardeio de fluxo de nêutrons, da radiação cósmica secundária, com átomos de nitrogênio presentes na atmosfera, conforme mostrado a seguir:



onde n = nêutron e p = próton.

A datação pelo decaimento do Trítio está baseada na suposição de que o Trítio inicial na água subterrânea é conhecido e que o Trítio “residual” é resultado apenas do decaimento, de acordo com a equação de decaimento a seguir:

$$a_t {}^3\text{H} = a_0 {}^3\text{H} \cdot e^{-\lambda t} \text{ (Equação 1.3)}$$

Onde  $\alpha_0$  é a atividade específica inicial do nuclídeo-pai (em Bq/kg ou mBq/g; 1 Bq = 1 desintegração por segundo),  $\alpha_t$  é a atividade específica depois de certo tempo  $t$ , e  $\lambda$  é a constante de decaimento.

O termo da equação ( $\alpha_0^3H$ ) é a atividade inicial do trítio ou concentração (expressa em TU – *Tritium Unit*) e o termo ( $\alpha_t^3H$ ) é a atividade residual remanescente (medida na amostra) após o decaimento por certo período  $t$ . Considerando que  $\lambda = \ln 2/t_{1/2}$  é a meia-vida do trítio, sendo  $t_{1/2} = 12,43$  anos, essa equação pode ser reescrita do seguinte modo:

$$t = -17,93 \cdot \ln \left( \frac{\alpha_t^3H}{\alpha_0^3H} \right) -$$

Considerando a análise de Trítio pelo método enriquecido (limite de detecção = 0,8 TU), a faixa útil de datação é menor do que 50 anos. O Quadro 1.22 apresenta uma classificação da idade das águas subterrâneas para regiões continentais e costeiras de baixa latitude (Clark & Fritz, 1999).

**QUADRO 1.22 - CLASSIFICAÇÃO DA IDADE DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PELO MÉTODO DO TRÍTIU**

Regiões	Concentração em TU	Classificação
Regiões continentais	< 0,8 TU	Submoderno – recarga anterior a 1952
	0,8 a ~4 TU	Mistura entre submoderno e recarga recente
	5 a 15 TU	Moderno (< 5 a 10 anos)
	15 a 30 TU	Alguma “bomba” $^3H$ presente
	> 30 TU	Considerável componente de recarga de 1960 ou 1970
	> 50TU	Dominantemente recarga dos anos 1960
Regiões costeiras e de baixa latitude	< 0,8 TU	Submoderno – recarga anterior a 1952
	0,8 a ~2 TU	Mistura entre submoderno e recarga recente
	2 a 8 TU	Moderno (< 5 a 10 anos)
	10 a 20 TU	Alguma “bomba” $^3H$ presente
	> 20 TU	Considerável componente de recarga de 1960 ou 1970

Foram realizadas 6 análises de trítio de águas do SAG na área piloto de São Gabriel do Oeste (MS), cujos resultados e interpretações com base em Clark & Fritz (1997) encontram-se no Quadro 1.23.

**QUADRO 1.23 - RESULTADOS E INTERPRETAÇÕES DAS ANÁLISES DE TRÍTIU DE AMOSTRAS DE ÁGUA DO SAG NA ÁREA PILOTO DE SÃO GABRIEL DO OESTE (MS)**

Nº Unesp	$\delta^3H$ [TU]	$\pm 2 \sigma$	Interpretação Qualitativa	Município	UF
GN182	1,8	0,7	Mistura de Submoderno com recente	São Gabriel do Oeste	MS
GN183	2	0,7	Moderno	São Gabriel do Oeste	MS
GN184	2,2	0,7	Moderno	São Gabriel do Oeste	MS
GN185	1,8	0,7	Mistura de Submoderno com recente	São Gabriel do Oeste	MS
GN186	1,5	0,7	Mistura de Submoderno com recente	São Gabriel do Oeste	MS
GN187	1,5	0,7	Mistura de Submoderno com recente	São Gabriel do Oeste	MS

Os valores de trítio variaram de 1,5 a 2,2 TU, sendo as águas classificadas como de recarga moderna e de mistura entre recarga submoderna e recarga recente.

Dentre as amostras analisadas, 4 apresentaram águas provenientes de mistura entre recarga submoderna e recarga recente (GN182, GN185, GN186 e GN187), e 2 amostras apresentaram águas modernas (GN183 e GN184), ou seja, com tempo médio de residência inferior a 10 anos.

As amostras GN183 e GN184 foram coletadas em poços rasos (16 metros de profundidade) e suas águas apresentaram concentrações muito baixas de estrôncio ( $Sr < 0,005$  mg/L, similar à água de chuva), indicando pouca interação água-rocha, o que corrobora com a pouca idade sugerida pelas análises de trítio.

Os valores relativamente altos de trítio (todos maiores que 0,8 TU) indicam forte presença de águas mais jovens nesta área, ou seja, águas provenientes de recargas muito recentes, apresentando curto tempo de residência.

## **1.6 GEOFÍSICA NA ÁREA PILOTO DE SÃO GABRIEL DO OESTE (MS)**

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

O objetivo dos serviços desenvolvidos no presente estudo foi determinar a distribuição espacial, espessura, litofácies e profundidade do nível d'água do Sistema Aquífero Guarani (SAG) na área piloto de São Gabriel do Oeste (MS). Os trabalhos foram desenvolvidos com equipamentos modernos de alto desempenho que possibilitaram a aquisição de dados precisos e confiáveis, no período de abril a junho de 2013.

O método geofísico empregado nesse estudo foi o de Eletrorresistividade que utilizou a técnica de Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e de Imageamento Elétrico 2D (IE). 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.

### **1.6.1 Método da Eletrorresistividade**

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

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



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

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

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

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

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

Considerando um cilindro sólido de comprimento  $L$  e seção  $A$ , de resistência  $R$ , a resistividade elétrica  $\rho$  é dada por (Figura 1.49):

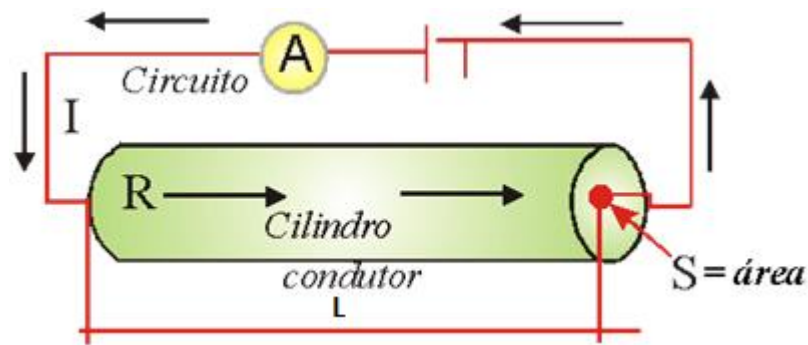


Figura 1.49 - Definição da resistividade dos materiais.

$$\rho = \frac{RA}{L} \quad (\text{Equação 1.4})$$

onde:

- ✧  $\rho$  - resistividade (ohm.m);
- ✧ R - resistência ( $\Omega$ );
- ✧ A - área (m<sup>2</sup>);
- ✧ L – comprimento do sólido (m).

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

$$R = \frac{V}{I} \quad (\text{Equação 1.5})$$

onde:

- ✧ R - resistência ( $\Omega$ );
- ✧ V - voltagem (V);
- ✧ I - corrente (A - ampère).

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

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{L}{RA} = \frac{\left(\frac{I}{A}\right)}{\left(\frac{V}{L}\right)} = \frac{\bar{J}_{\text{médio}}}{\bar{E}_{\text{médio}}} \quad (\text{Equação 1.6})$$

onde:

- ✧ J – densidade da corrente (A/m<sup>2</sup>);
- ✧ E – campo elétrico (V/m).

### 1.6.1.1 Técnica da Sondagem Elétrica Vertical

A técnica de Sondagem Elétrica Vertical (SEV) fundamenta-se na análise e interpretação das respostas do campo elétrico gerado no subsolo, por meio de eletrodos colocados na superfície do terreno, aos quais é aplicada uma corrente elétrica. Para que a técnica da SEV seja aplicada são necessários alguns componentes, tais como conjunto transmissor de corrente elétrica contínua ou alternada, conjunto receptor responsável pela medida de diferença de potencial, eletrodos, bobinas e cabos.

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

Existem vários tipos de arranjo para a execução de uma SEV, em especial, para esse levantamento, foi escolhido o arranjo conhecido como *Schlumberger*, que consiste basicamente de quatro eletrodos cravados na superfície do terreno. Dois destes eletrodos têm a função de gerar corrente elétrica no terreno (eletrodos A e B), enquanto o outro par (eletrodos M e N) é utilizado para medir a diferença de potencial que se estabelece entre eles (Figura 1.50). Para aumentar a profundidade de investigação, separam-se os eletrodos A e B progressivamente e simetricamente ao centro O. Este arranjo foi escolhido levando-se em consideração dois aspectos: a praticidade em campo e a boa resolução nas heterogeneidades verticais.

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

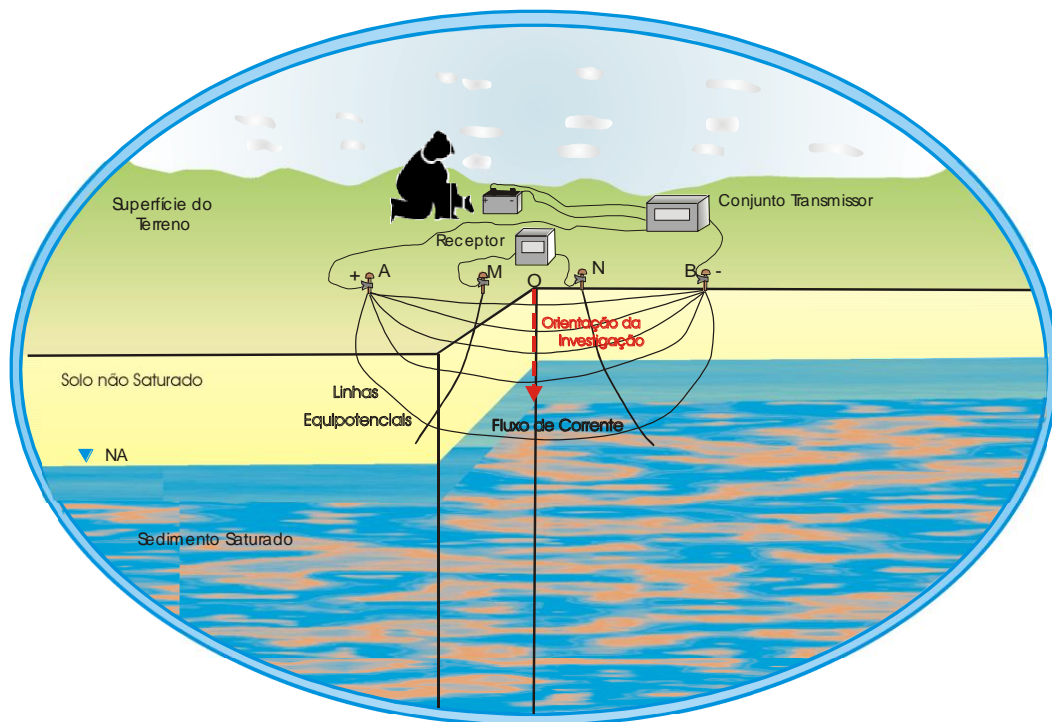


Figura 1.50 - Disposição dos circuitos de emissão e de recepção da técnica da SEV - Arranjo Schlumberger. Fonte: Oliva (2006).

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

$$\frac{AB}{5} \geq MN \quad (\text{Equação 1.7})$$

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

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

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

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

sendo: (Equação 1.8)

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

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

Os levantamentos geofísicos pelo método de eletrorresistividade com utilização da técnica de Sondagem Elétrica Vertical (SEV) tiveram como objetivo determinar a distribuição espacial do SAG na área piloto de São Gabriel do Oeste (MS), sua espessura, suas diferentes fácies e a profundidade do nível de água do aquífero.

Nos levantamentos de campo foi utilizado o resistímetro SYSCAL PRO. Este equipamento possui a capacidade de discriminar ruídos indesejáveis, medindo somente o potencial relativo à corrente transmitida. Todo o processo de filtragem de ruídos e de cálculo dos resultados é executado por um microprocessador, cujos parâmetros são controlados pelo operador. Foram utilizados ainda os acessórios para os circuitos de emissão de corrente e recepção de potencial, tais como bobinas de AB, eletrodos, cabos de MN etc. (Figura 1.51).

### 1.6.1.2 Interpretação dos Dados - SEV

Os valores de resistividade aparente medidos no local são lançados em gráfico bilogarítmico, onde a abscissa representa a meia distância entre os eletrodos A e B, e a ordenada os valores de resistividade aparente encontrados. Esta curva, após plotagem, é interpretada,

determinando-se desta forma as espessuras das camadas do solo/subsolo (subentende-se que cada camada seja gerada a partir de uma descontinuidade das propriedades físicas do solo, que geralmente reflete uma mudança litológica).

A interpretação da Sondagem Elétrica Vertical (SEV) pode ser realizada por meio de curvas padrões, neste caso utiliza-se um conjunto de curvas procurando manualmente quais os melhores ajustes, determinando-se assim a resistividade e a espessura de cada camada. Outra metodologia consiste na utilização de *softwares* que, a partir da curva obtida em campo, podem determinar os modelos que melhor se encaixam nos dados observados, sendo o melhor ajuste o modelo adotado (Figura 1.52).

Além do modelo assumido no melhor ajuste da curva, são determinados valores de espessura, profundidade e resistividade máximos e mínimos que a curva pode assumir, pois a solução obtida por meio de um modelo de inversão geofísica não é única. Variações decorrentes da anisotropia da área de estudo podem ser consideradas e o melhor modelo para a área de estudo pode não ser o que possua um erro mais baixo.

Conforme descrito anteriormente, nos levantamentos de campo está sendo utilizado o resistímetro SYSCAL PRO. Este equipamento possui a capacidade de discriminar ruídos indesejáveis, medindo somente o potencial relativo à corrente transmitida.



Figura 1.51 – Fotos ilustrando o levantamento geofísico por meio da técnica de Sondagem Elétrica Vertical.

Modelo determinado a partir da inversão da curva de campo

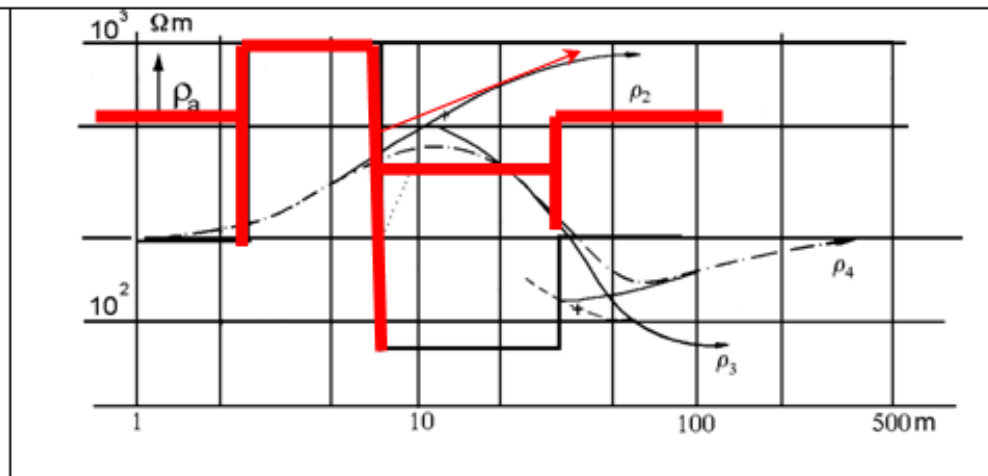


Figura 1.52 – Ilustração de método de interpretação de SEV.

Fonte: Braga (2005)

Todo o processo de filtragem de ruídos e de cálculo dos resultados é executado por um microprocessador, cujos parâmetros são controlados pelo operador. Foram utilizados ainda os acessórios para os circuitos de emissão de corrente e recepção de potencial, tais como bobinas de AB, eletrodos, cabos de MN etc.

### 1.6.1.3 Técnica de Imageamento Elétrico 2D

O modelo de variações de resistividade da subsuperfície em duas dimensões (2D) é considerado mais preciso que o modelo unidirecional, pois caracteriza mudanças de resistividade tanto na direção horizontal como na vertical, ao longo de uma seção.

Segundo Loke (2001), a técnica de SEV produz de 10 a 20 leituras, enquanto que o imageamento 2D produz de 100 a 1000 leituras.

Em muitas situações, o imageamento 2D pode fornecer resultados complementares às informações obtidas por outras técnicas, ou até mesmo as obtidas por outros métodos geofísicos, eliminando ambiguidades geradas em modelos geoeletricos definidos por meio de uma única técnica.

Normalmente, as pesquisas que utilizam a técnica do imageamento elétrico 2D são executadas com um grande número de eletrodos, 25 ou mais, conectados a um cabo multieletrodo (Figura 1.53). Neste estudo estão sendo utilizados 84 eletrodos.

O espaço entre os eletrodos é constante e determinado a partir do objetivo almejado pela pesquisa. O cabo multieletrodo é conectado diretamente ao equipamento ou a uma unidade eletrônica conhecida como *switch box*.



**Figura 1.53 – Cabo multieletrodo**

A sequência de medidas, o tipo de arranjo utilizado e outros parâmetros, normalmente são definidos em um programa apropriado, que gera um arquivo que, posteriormente, é enviado ao resistímetro.

Com este arquivo, o equipamento se torna apto a selecionar os eletrodos adequados para cada medida. As medidas são armazenadas no resistímetro também em forma de arquivo que, por sua vez, retorna ao computador para que possam ser realizadas as interpretações cabíveis.

Quando o sistema utilizado para a obtenção das medidas apresenta um número limitado de eletrodos, é comum a utilização da técnica *roll-along*, que permite estender a área de estudo (Figura 1.54).

2D

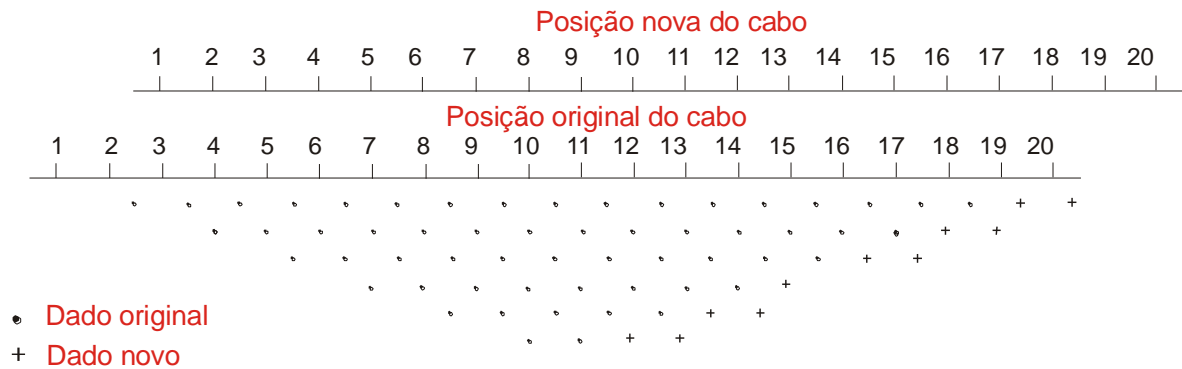


Figura 1.54 – Utilização da técnica roll along no imageamento 2D, para ampliar a área de cobertura da pesquisa.

O tipo de arranjo escolhido na pesquisa de imageamento 2D e 3D dependerá essencialmente da área a ser analisada. Se a pesquisa for realizada em um local com bastante ruído (cercas elétricas, fios de alta tensão etc.) e necessitar de uma boa resolução vertical, além de possuir um tempo limitado para sua execução, o arranjo mais adequado será o Wenner.

O arranjo Wenner é um arranjo robusto que foi popularizado por um grupo de pesquisadores da Universidade de Birmingham (Griffiths & Turnbull, 1985). Comparados a outros arranjos, atinge profundidade moderada de investigação. A desvantagem desse arranjo é a pouca convergência das medidas, quando o espaço entre os eletrodos aumenta.

Se o intuito da pesquisa é obter tanto uma boa resolução horizontal como uma boa convergência, o arranjo escolhido deverá ser o Dipolo-Dipolo (Dp-Dp). Em geral, este arranjo atinge uma profundidade maior quando comparado ao arranjo Wenner (Edwards, 1977).

Se a pesquisa necessita de uma boa resolução vertical e horizontal deve-se optar pelo arranjo Schlumberger. Este arranjo é o mais utilizado nas sondagens elétricas verticais, mas uma modificação realizada na forma deste arranjo fez com que ele pudesse ser usado em um sistema onde os eletrodos estão dispostos com espaçamento constante. A profundidade média deste arranjo é 10% menor que o arranjo Wenner (Loke, 2001).

Nos levantamentos de campo foi utilizado o resistímetro *Super Sting R8/IP* (Figura 1.55). Este equipamento possui sistema multieletrodo, com 84 eletrodos. As coordenadas e a altitude de cada eletrodo foram obtidas por meio de GPS diferencial (DGPS) da marca *Trimble*, para posterior correção topográfica, realizada nas 61 seções de IE (Figura 1.56).





**Figura 1.55 – Resistímetro Super Sting R8 IP.**

Os levantamentos geofísicos pelo método de eletrorresistividade com utilização da técnica de Imageamento Elétrico 2D (IE) (Figura 1.56) tiveram como objetivo determinar a distribuição espacial do SAG na área piloto de São Gabriel do Oeste (MS), sua espessura, suas diferentes fácies e a profundidade do nível de água do aquífero, ou seja, os mesmos objetivos da técnica de SEV, porém a técnica de IE complementa as informações obtidas na SEV, uma vez que obtém resultados de variações nos valores de resistividade tanto na direção vertical como na horizontal ao longo de uma seção.



Figura 1.56 – Fotos ilustrando o levantamento geofísico por meio da técnica de imageamento elétrico 2D.

#### 1.6.1.4 Interpretação dos Dados – Imageamento Elétrico 2D

No imageamento 2D, a pseudoseção é o método normalmente utilizado para representar a distribuição dos valores de resistividade. Vale lembrar que a pseudoseção é um guia inicial para estabelecer interpretações quantitativas e não uma imagem final da resistividade verdadeira de subsuperfície.

Outro método de plotagem é o de pseudoprodifundidade (Edwards, 1977). Este valor de pseudoprodifundidade está baseado nos valores da derivada de Frechet, para meios homogêneos. A partir de bases matemáticas, este método de pseudoprodifundidade também é utilizado para plotagem dos dados de resistividade obtidos no campo.

Após aquisição de campo, as medidas de resistência são reduzidas a valores de resistividade aparente. Praticamente todos os sistemas comerciais multieletrodo são acompanhados por um

software para realizar a conversão e a inversão dos dados de resistividade aparente, gerando seções 2D que serão utilizadas em interpretações geológicas.

O programa que está sendo utilizado nesta pesquisa para inversão dos dados é o *EarthImager 2D*, produzido pela AGI (USA).

Em essência, todos os métodos de inversão tentam reproduzir, ao máximo, a realidade de subsuperfície onde os dados foram adquiridos.

Um bom e conhecido método de inversão é o *smoothness constrained* (Groot-Hedlin & Constable, 1990), que é definido pela seguinte fórmula matemática:

$$(J^T J + uF)d = J^T g - uFr \quad (\text{Equação 1.9})$$

onde:

- ✧ F – matriz de suavização;
- ✧ J - matriz de Jacob de derivadas parciais;
- ✧ r – vetor contendo o logaritmo dos valores do modelo de resistividade;
- ✧ u – fator de amortecimento;
- ✧ d – modelo do vetor de perturbação;
- ✧ g – vetor de discrepância;
- ✧ T – matriz transposta.

O vetor de discrepância (g) é a diferença entre a resistividade medida e os valores de resistividade aparente calculados. A magnitude deste vetor é representada pelos valores de RMS (média da raiz quadrada), que o método de inversão procura reduzir para produzir um modelo aperfeiçoado.

Com a equação 1.10, tenta-se ainda minimizar a diferença entre os valores de resistividade aparente, medidos e calculados, e também minimizar os valores anômalos de resistividade do modelo. O fator de amortecimento (u) controla o peso que é dado ao modelo de suavização no processo de inversão. Assim, quanto maior o fator de amortecimento, maior a suavização do modelo, mas o RMS apresentará um erro maior. Os elementos da matriz (F) podem ser modificados tanto na vertical como na horizontal, enfatizando mudanças significativas no modelo final. Na equação utilizada dá-se os mesmos pesos para todos pontos de dados. Somente em alguns casos, devido a presença de dados anômalos que originam resultados insatisfatórios na inversão, deve-se utilizar matriz de dados suplementares, que reduzirão os dados anômalos.

### **1.6.2 Descrição das Atividades Realizadas**

A área piloto de São Gabriel do Oeste (SGO) compreende aproximadamente 3.400 km<sup>2</sup>. Para esta área foi proposta a execução de 100 SEVs distribuídas de forma regular (um ensaio a cada 20 km<sup>2</sup>), porém considerando o tamanho da área e a malha solicitada seriam necessárias 170 SEVs.

Para manter o quantitativo pré-estabelecido nos TDRs (100 SEVs) e obter informações suficientes que possibilitem definir a geometria e as espessuras do SAG na área, assim como o entendimento do empilhamento vertical e a continuidade lateral dos pacotes rochosos, tentou-se aumentar o menos possível a malha inicialmente sugerida, que passou de 20 km<sup>2</sup> para 27 km<sup>2</sup>. No entanto, a cada 27 km<sup>2</sup> as técnicas geofísicas executadas na área foram alternadas, uma vez que da técnica de imageamento elétrico 2D pode-se obter uma SEV.

Obedecendo a essa malha foram executadas 77 SEVs e 101.260 metros de imageamento elétrico 2D. As 23 SEVs restantes foram posicionadas nos extremos da área piloto de forma a auxiliar na análise geoestatística e, por conseguinte, a elaboração dos mapas, e também nas áreas que permitiram uma abertura de AB/2 de 2.000 metros, de modo a atingir profundidades de investigação superiores a 500 metros.

As SEVs foram executadas com arranjo Schlumberger, com espaçamento de AB/2 de 1.000 metros, com exceção das SEV-09 e SEV-52 que tiveram um espaçamento máximo de AB/2 de 800 metros, pois nessas duas áreas as declividades em distâncias maiores que 800 metros ultrapassavam 10%, limitação para a execução dessa técnica. Nas SEVs 03, 04, 13, 14, 18, 19, 30, 32, 40, 46, 58, 64, 65, 72, 78, 79, 80, 84, 91 e 94 foi possível a utilização de AB/2 igual a 2.000 metros, pois estas SEVs estão localizadas em áreas planas e de fácil execução. Esse espaçamento permitiu investigar profundidades teóricas superiores a 500 metros.

Os imageamentos elétricos 2D (IEs) foram executados com arranjo Wenner, utilizando 84 eletrodos com espaçamento de 20 metros. Nesse estudo foram executadas 61 seções de aproximadamente 1.660 metros, totalizando 101.260 metros.

No Quadro 1.24 são apresentadas as coordenadas e as altitudes das SEVs executadas, e no Quadro 1.25 as coordenadas de início e fim dos imageamentos elétricos 2D e suas altitudes.

**QUADRO 1.24 – COORDENADAS E ALTITUDE DAS SEVS EXECUTADAS EM SÃO GABRIEL DO OESTE (MS)**

SEVs	Longitude	Latitude	Altitude (m)
SEV-01	-54,798	-19,077	434
SEV-02	-54,676	-19,091	674
SEV-03	-54,605	-19,087	659
SEV-04	-54,503	-19,094	420
SEV-05	-54,405	-19,072	359
SEV-06	-54,346	-19,088	347
SEV-07	-54,204	-19,165	395
SEV-08	-54,097	-19,091	382
SEV-09	-54,861	-19,162	547
SEV-10	-54,756	-19,130	582
SEV-11	-54,648	-19,129	693
SEV-12	-54,619	-19,158	704
SEV-13	-54,506	-19,136	441
SEV-14	-54,426	-19,141	415
SEV-15	-54,331	-19,151	403
SEV-16	-54,204	-19,165	341
SEV-17	-54,125	-19,144	366
SEV-18	-54,840	-19,179	559
SEV-19	-54,755	-19,172	654
SEV-20	-54,649	-19,203	698
SEV-21	-54,577	-19,204	686
SEV-22	-54,484	-19,183	717
SEV-23	-54,333	-19,173	427
SEV-24	-54,270	-19,182	353
SEV-25	-54,169	-19,205	364
SEV-26	-54,080	-19,142	446
SEV-27	-54,814	-19,251	548
SEV-28	-54,721	-19,236	713
SEV-29	-54,587	-19,250	702
SEV-30	-54,493	-19,256	717
SEV-31	-54,399	-19,254	464
SEV-32	-54,306	-19,236	417
SEV-33	-54,228	-19,226	359
SEV-34	-54,106	-19,228	370
SEV-35	-54,813	-19,319	612
SEV-36	-54,726	-19,287	702
SEV-37	-54,643	-19,268	706
SEV-38	-54,556	-19,284	695
SEV-39	-54,454	-19,311	726
SEV-40	-54,343	-19,277	422
SEV-41	-54,294	-19,297	407
SEV-42	-54,151	-19,300	373
SEV-43	-54,072	-19,293	372
SEV-44	-54,786	-19,333	626
SEV-45	-54,683	-19,324	665
SEV-46	-54,586	-19,335	661
SEV-47	-54,523	-19,328	716
SEV-48	-54,432	-19,352	674
SEV-49	-54,306	-19,332	409
SEV-50	-54,203	-19,354	342

SEVs	Longitude	Latitude	Altitude (m)
SEV-51	-54,096	-19,436	391
SEV-52	-54,864	-19,385	308
SEV-53	-54,756	-19,372	663
SEV-54	-54,656	-19,374	643
SEV-55	-54,548	-19,373	637
SEV-56	-54,451	-19,361	691
SEV-57	-54,332	-19,360	405
SEV-58	-54,266	-19,366	397
SEV-59	-54,150	-19,359	381
SEV-60	-54,079	-19,388	390
SEV-61	-54,774	-19,414	634
SEV-62	-54,709	-19,427	474
SEV-63	-54,594	-19,421	666
SEV-64	-54,503	-19,424	637
SEV-65	-54,179	-19,411	369
SEV-66	-54,177	-19,420	417
SEV-67	-54,518	-19,366	708
SEV-68	-54,411	-19,368	665
SEV-69	-54,300	-19,370	428
SEV-70	-54,220	-19,351	370
SEV-71	-54,134	-19,379	359
SEV-72	-54,762	-19,394	665
SEV-73	-54,630	-19,420	655
SEV-74	-54,546	-19,423	625
SEV-75	-54,474	-19,422	622
SEV-76	-54,219	-19,420	384
SEV-77	-54,085	-19,419	403
SEV-78	-54,770	-19,074	384
SEV-79	-54,650	-19,079	686
SEV-80	-54,667	-19,111	694
SEV-81	-54,672	-19,178	674
SEV-82	-54,603	-19,222	695
SEV-83	-54,551	-19,232	687
SEV-84	-54,510	-19,279	734
SEV-85	-54,484	-19,366	688
SEV-86	-54,261	-19,333	439
SEV-87	-54,072	-19,354	425
SEV-88	-54,107	-19,432	412
SEV-89	-54,203	-19,415	381
SEV-90	-54,478	-19,427	628
SEV-91	-54,721	-19,075	553
SEV-92	-54,291	-19,096	354
SEV-93	-54,636	-19,073	653
SEV-94	-54,477	-19,070	367
SEV-95	-54,131	-19,070	366
SEV-96	-54,046	-19,147	420
SEV-97	-54,044	-19,212	395
SEV-98	-54,056	-19,369	498
SEV-99	-54,061	-19,442	456
SEV-100	-54,740	-19,273	714

**QUADRO 1.25 – COORDENADAS (INÍCIO E FIM) DOS IMAGEAMENTOS ELÉTRICOS 2D  
EXECUTADOS EM SÃO GABRIEL DO OESTE (MS)**

Imageamentos Elétricos 2D	Longitude	Latitude	Altitude (m)
IE-01 início	-54,847	-19,077	450,422
IE-01 fim	-54,856	-19,089	490,689
IE-02 início	-54,766	-19,081	390,600
IE-02 fim	-54,773	-19,068	367,455
IE-03 início	-54,646	-19,090	680,187
IE-03 fim	-54,652	-19,077	669,501
IE-04 início	-54,566	-19,065	570,953
IE-04 fim	-54,557	-19,078	521,227
IE-05 início	-54,475	-19,075	381,463
IE-05 fim	-54,465	-19,062	368,129
IE-06 início	-54,383	-19,059	359,735
IE-06 fim	-54,399	-19,057	323,231
IE-07 início	-54,292	-19,096	343,999
IE-07 fim	-54,289	-19,082	347,287
IE-08 início	-54,152	-19,088	385,494
IE-08 fim	-54,164	-19,097	359,571
IE-09 início	-54,075	-19,099	380,735
IE-09 fim	-54,087	-19,106	416,729
IE-10 início	-54,791	-19,120	455,648
IE-10 fim	-54,798	-19,131	484,059
IE-11 início	-54,702	-19,139	698,653
IE-11 fim	-54,698	-19,153	696,457
IE-12 início	-54,613	-19,164	695,416
IE-12 fim	-54,625	-19,154	704,098
IE-13 início	-54,574	-19,198	675,482
IE-13 fim	-54,570	-19,184	682,779
IE-14 início	-54,485	-19,184	707,264
IE-14 fim	-54,479	-19,198	668,116
IE-15 início	-54,338	-19,159	418,301
IE-15 fim	-54,333	-19,173	423,294
IE-16 início	-54,247	-19,158	360,963
IE-16 fim	-54,241	-19,144	357,998
IE-17 início	-54,179	-19,182	360,745
IE-17 fim	-54,192	-19,173	351,284
IE-18 início	-54,069	-19,151	438,535
IE-18 fim	-54,080	-19,142	442,791
IE-19 início	-54,758	-19,166	608,219
IE-19 fim	-54,753	-19,180	643,050
IE-20 início	-54,713	-19,194	699,495
IE-20 fim	-54,714	-19,179	686,104
IE-21 início	-54,622	-19,194	675,664
IE-21 fim	-54,616	-19,182	694,000
IE-22 início	-54,512	-19,182	702,148
IE-22 fim	-54,525	-19,191	687,104
IE-23 início	-54,401	-19,178	431,625
IE-23 fim	-54,386	-19,183	409,560
IE-24 início	-54,331	-19,182	413,778
IE-24 fim	-54,333	-19,197	375,888
IE-25 início	-54,304	-19,234	413,138
IE-25 fim	-54,314	-19,247	413,550
IE-26 início	-54,144	-19,198	379,548
IE-26 fim	-54,160	-19,198	379,454
IE-27 início	-54,817	-19,224	647,075
IE-27 fim	-54,809	-19,211	680,422
IE-28 início	-54,763	-19,267	694,395
IE-28 fim	-54,750	-19,245	713,501
IE-29 início	-54,633	-19,247	708,185
IE-29 fim	-54,620	-19,238	705,153
IE-30 início	-54,540	-19,245	710,843
IE-30 fim	-54,527	-19,264	719,359
IE-31 início	-54,491	-19,246	707,387
IE-31 fim	-54,495	-19,261	712,173

Continua...

**QUADRO 1.25 – COORDENADAS (INÍCIO E FIM) DOS IMAGEAMENTOS ELÉTRICOS 2D  
EXECUTADOS EM SÃO GABRIEL DO OESTE (MS)**

Imageamentos Elétricos 2D	Longitude	Latitude	Altitude (m)
IE-32 início	-54,319	-19,219	390,087
IE-32 fim	-54,304	-19,224	403,547
IE-33 início	-54,277	-19,226	423,999
IE-33 fim	-54,263	-19,222	403,730
IE-34 início	-54,142	-19,266	364,749
IE-34 fim	-54,150	-19,279	401,837
IE-35 início	-54,055	-19,251	379,158
IE-35 fim	-54,065	-19,242	346,805
IE-36 início	-54,784	-19,286	665,466
IE-36 fim	-54,772	-19,276	680,727
IE-37 início	-54,690	-19,282	643,176
IE-37 fim	-54,703	-19,291	684,391
IE-38 início	-54,599	-19,280	635,838
IE-38 fim	-54,613	-19,285	669,358
IE-39 início	-54,503	-19,308	735,692
IE-39 fim	-54,503	-19,293	731,463
IE-40 início	-54,416	-19,287	657,523
IE-40 fim	-54,404	-19,277	630,361
IE-41 início	-54,308	-19,293	422,068
IE-41 fim	-54,322	-19,286	425,757
IE-42 início	-54,192	-19,293	329,700
IE-42 fim	-54,208	-19,295	329,657
IE-43 início	-54,108	-19,303	400,492
IE-43 fim	-54,107	-19,296	388,095
IE-44 início	-54,864	-19,336	317,174
IE-44 fim	-54,850	-19,329	317,566
IE-45 início	-54,736	-19,328	697,539
IE-45 fim	-54,751	-19,333	698,559
IE-46 início	-54,656	-19,356	625,512
IE-46 fim	-54,640	-19,360	645,186
IE-47 início	-54,551	-19,349	663,579
IE-47 fim	-54,535	-19,346	684,977
IE-48 início	-54,450	-19,344	704,092
IE-48 fim	-54,465	-19,339	696,670
IE-49 início	-54,345	-19,328	420,987
IE-49 fim	-54,351	-19,314	435,486
IE-50 início	-54,262	-19,333	427,710
IE-50 fim	-54,271	-19,346	438,695
IE-51 início	-54,756	-19,388	683,225
IE-51 fim	-54,767	-19,399	664,632
IE-52 início	-54,075	-19,339	410,586
IE-52 fim	-54,076	-19,354	407,863
IE-53 início	-54,760	-19,362	662,370
IE-53 fim	-54,755	-19,376	663,780
IE-54 início	-54,700	-19,390	559,148
IE-54 fim	-54,697	-19,404	527,170
IE-55 início	-54,623	-19,406	637,268
IE-55 fim	-54,619	-19,392	628,972
IE-56 início	-54,516	-19,381	673,241
IE-56 fim	-54,519	-19,367	692,001
IE-57 início	-54,404	-19,376	650,777
IE-57 fim	-54,415	-19,365	684,474
IE-58 início	-54,306	-19,373	429,899
IE-58 fim	-54,299	-19,369	410,013
IE-59 início	-54,230	-19,350	361,715
IE-59 fim	-54,214	-19,350	384,539
IE-60 início	-54,128	-19,386	396,950
IE-60 fim	-54,138	-19,375	355,598
IE-61 início	-54,083	-19,421	421,007
IE-61 fim	-54,092	-19,408	412,021

A Figura 1.57 mostra a localização das SEVs e dos imageamentos elétricos na área piloto de São Gabriel do Oeste.

Os resultados mostraram que as diferentes técnicas geofísicas aplicadas nesse estudo, mesmo com as limitações inerentes a cada uma, atingiram o objetivo proposto de expandir o nível de conhecimento sobre o SAG na área piloto de São Gabriel do Oeste (MS).

### **1.6.3 Interpretação dos Dados Geofísicos**

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

De maneira geral, a análise morfológica das curvas das SEVs e das seções de IE obtidas em campo permitiu identificar três eletrofácies principais:

- ✓ Valores de resistividade altos, típicos de arenito cimentado, ou de basalto, ou de diabásio e ou de laterita;
- ✓ Valores intermediários, típico de arenitos de granulometria grossa a média.
- ✓ Valores baixos, típico de arenitos com granulometria fina, ou de arenitos com matriz argilosa e ou silito.

Na área piloto de São Gabriel do Oeste (MS) é possível identificar dois estratos principais, com ampla variação de resistividade de um local para outro. Devido a essa variação na área de estudo, esses estratos foram divididos em duas zonas:

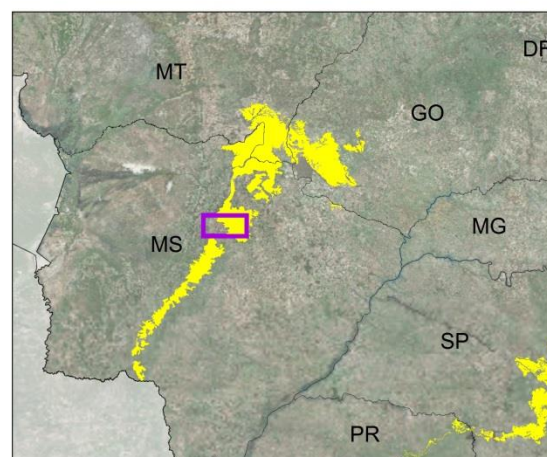
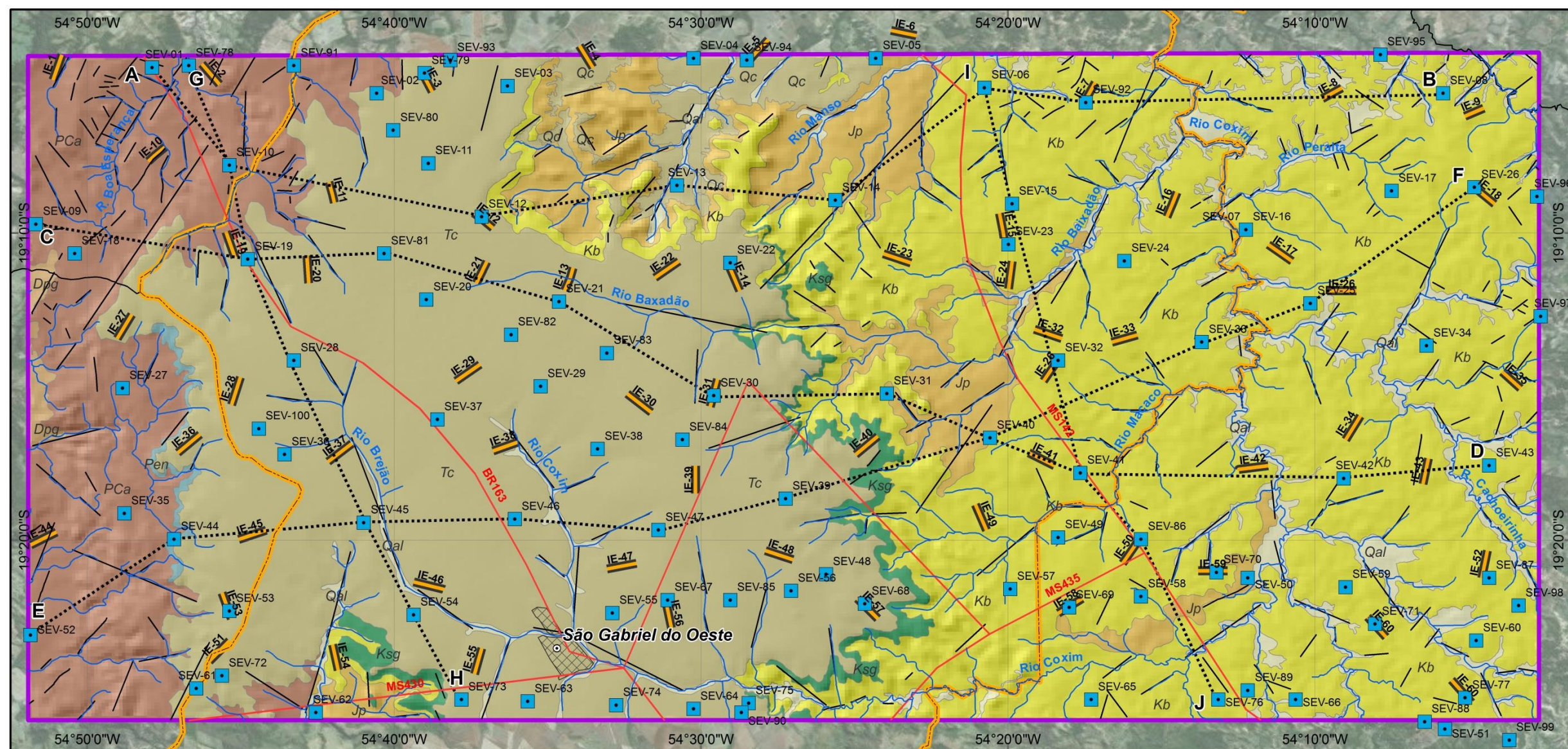
- ✓ Não saturada, referindo-se à porção localizada acima do nível d'água do aquífero Guarani;
- ✓ Saturada, referindo-se à porção localizada abaixo do nível d'água, em que o substrato encontra-se totalmente saturado.

Para a zona não saturada (sedimentos superficiais), os valores de resistividade obtidos apresentam uma ampla gama de variação (17,60 a 54.573,35 ohm.m). Os valores inferiores a 100 ohm.m, identificados nessa zona, provavelmente estão relacionados as coberturas cenozoicas argilosas e/ou basalto alterado. Caso esses valores de resistividade ocorram em estratos geoeletricos com profundidades inferiores a 2 metros, podem ainda estar associados a sedimentos arenosos inconsolidados saturados devido à infiltração de água por precipitação. Já os valores superiores a 5.000,00 ohm.m correspondem, provavelmente, aos níveis de base da cobertura cenozoica representado por camadas lateríticas ou a arenitos cimentados e ou ainda a rocha basáltica.

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

- ✓ arenito cimentado ou diabásio;
- ✓ arenito de granulometria grossa a média;
- ✓ arenito de granulometria fina e/ou com matriz argilosa ou silito.





Localização da área-piloto no estado de Mato Grosso do Sul

**Convenções cartográficas**

- Rios
- Rodovias
- Sedes Municipais
- Sede - São Gabriel do Oeste
- Limites Municipais
- Município de São Gabriel do Oeste
- Área piloto no MS

**Geofísica**

- SEVs
- Imageamento elétrico
- Seções geolétricas
- Lineamentos

**Unidades litoestratigráficas**

- Depósitos aluvionares
- Coberturas Indiferenciadas
- Formação Serra Geral
- Formação Botucatu
- Formação Pirambóia
- Formação Estrada Nova /Corumbataí
- Formação Ponta Grossa
- Grupo Aquidauana



0 2,4 4,8 7,2 km

Escala Numérica = 1:240.000

Figura 1.57 – Mapa de localização das SEVs e dos imageamentos elétricos 2D, e das seções geolétricas elaboradas na área piloto de São Gabriel do Oeste.

Na maioria dos modelos geoeletricos das SEVs, em profundidades que variam de 118,9 metros (SEV-18) a 397,7 (SEV-26), encontra-se um estrato com valores de resistividade entre 1.007,55 ohm.m a 32.631,12 ohm.m. Esse estrato, a principio, foi interpretado como topo da Formacao Ponta Grossa (Devoniano), porém com base no levantamento geológico local e no conhecimento implícito da estratigrafia da Bacia do Paraná, concluiu-se que o estrato resistivo registrado nas sondagens elétricas representam corpos intrusivos de diabásio, intercalados aos sedimentos, conforme explicado no item 1.1.3.

Nos IEs esse estrato não foi constatado, pois as profundidades máximas de investigação atingidas pelo método foram inferiores às profundidades de ocorrência do estrato.

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

Dos modelos geoeletricos dos IEs foram obtidos: níveis d'água (m), resistividades dos níveis geoeletricos interpretados (ohm.m) associados à litologia provável do local estudado (eletrofácies).

O Quadro 1.26 apresenta o modelo geoeletrico final alcançado pela associação de dados de resistividade obtidos nas SEVs e nos IEs e de geologia local. Esse modelo trata-se de um resumo geral dos valores de resistividade identificados, correlacionados aos possíveis sedimentos encontrados na área, porém, por se tratar de uma área extensa, não é recomendável correlacioná-lo diretamente à estratigrafia local, uma vez que diferentes formações geológicas podem apresentar sedimentos/rochas com valores de resistividade semelhantes, assim como diferentes valores de resistividade podem ser correlacionados à mesma formação geológica. Assim, para cada SEV e IE foi elaborado um modelo geoeletrico, por sua vez correlacionado com a litoestratigrafia. Essa correlação foi sustentada pelo mapeamento geológico executado na área de estudo.

**QUADRO 1.26 – MODELO GEOELÉTRICO FINAL**

<b>Zona</b>	<b>Eletrofácies</b>	<b>Resistividade (ohm.m)</b>
Não Saturada	Sedimentos Superficiais	17,60 a 54.573,35
Saturada	Arenito cimentado ou diabásio	1.200 a 12.000
	Arenito de granulometria grossa a média	200 a 1.100
	Arenito de granulometria fina e/ou com matriz argilosa ou siltito	$\rho < 200$
Provável Devoniano/Permiano	Diabásio ou arenito cimentado	1.007 a 32.631,12 17

O procedimento adotado para minimizar as ambiguidades verificadas nas eletrofácies descritas no Quadro 1.26 foi o de verificar as descrições de amostras de calha de alguns poços existentes na área com os valores de resistividade obtidos nas seções de IEs, que caracterizam valores de resistividade nas direções horizontais e verticais ao longo de uma seção, abrangendo 1.660 metros em linha reta. A associação entre IEs e poços existentes (IEs 38 e 54 associados, respectivamente, aos poços cadastrados com os códigos 30630 e 28110) não permitiu correlação totalmente efetiva, uma vez que os perfis desses poços alcançam profundidade máxima de 60 metros (Figuras 1.58 e 1.59).

De acordo com os resultados das interpretações das SEVs e das seções de IE, a profundidade do nível da água subterrânea (NA) no SAG na área piloto de São Gabriel do Oeste variou entre 8,55 m (SEV-61 – sudoeste da área piloto) e 95,30 m (SEV-10 – noroeste da área piloto) (Figura 1.60).

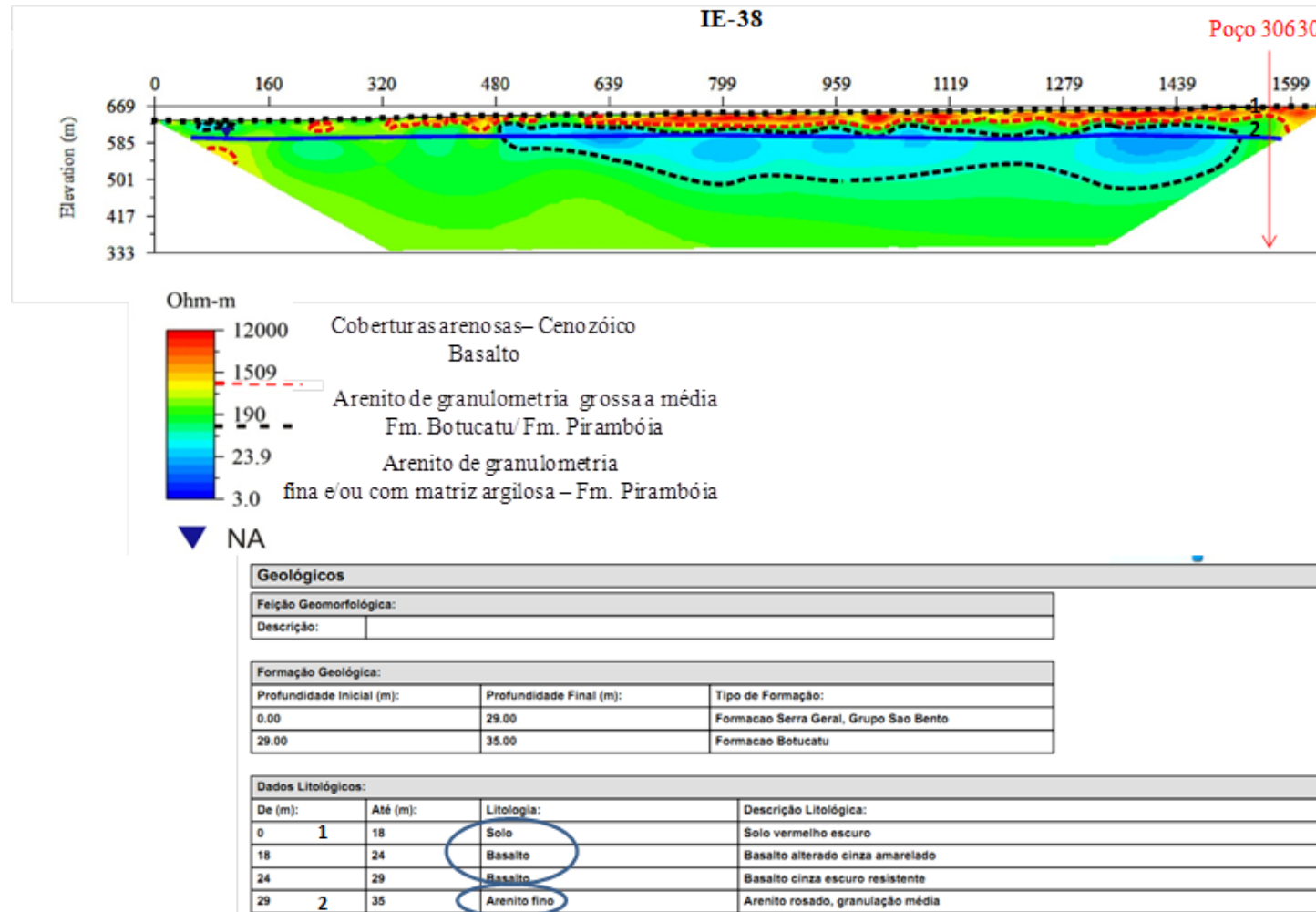


Figura 1.58 – Seção modelada do IE – 38 perfil descritivo do poço 30630, localizado em São Gabriel do Oeste.

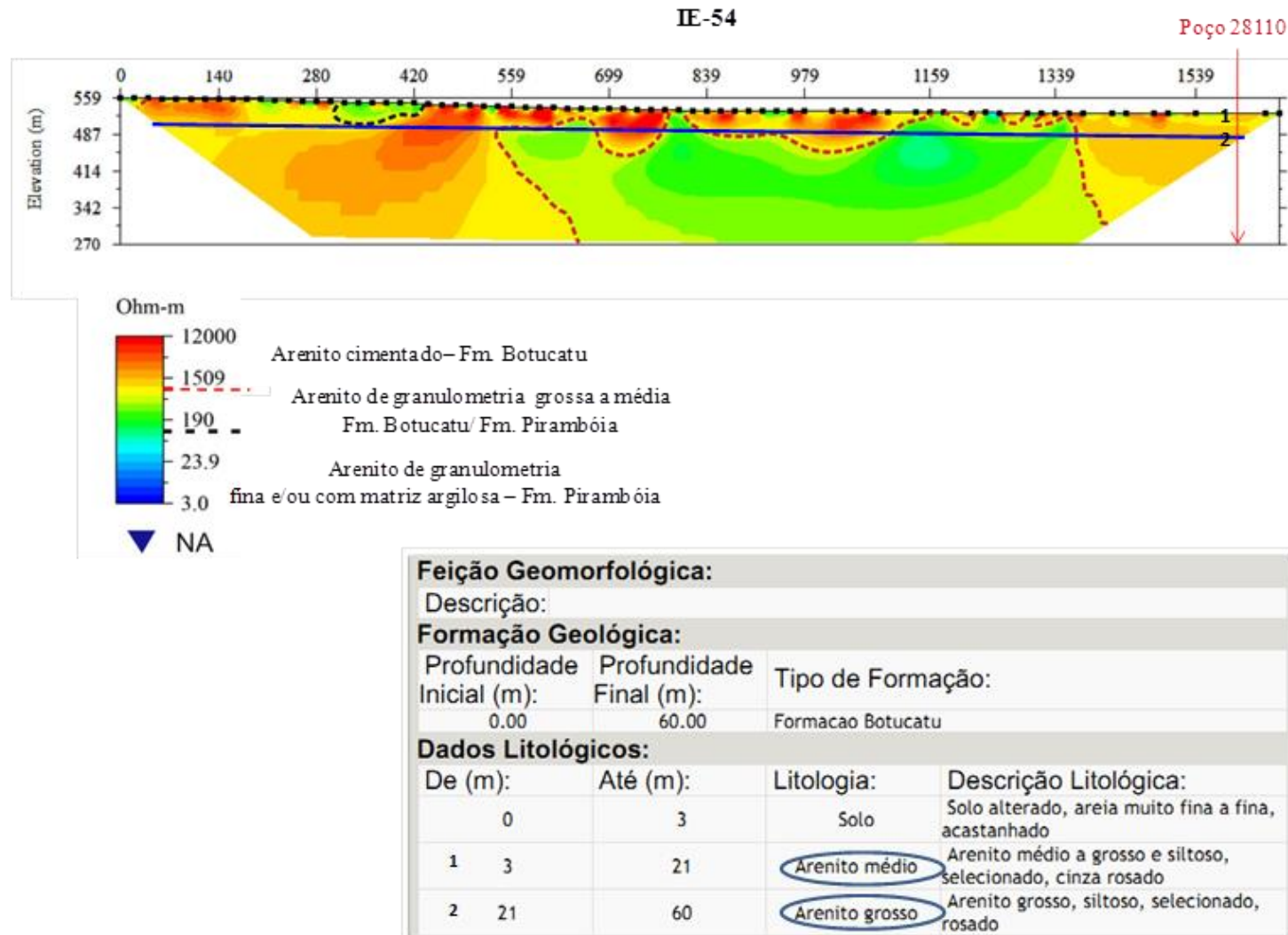


Figura 1.59 – Seção modelada do IE – 54 perfil descritivo do poço 28110, localizado na Fazenda São João, São Gabriel do Oeste (MS).

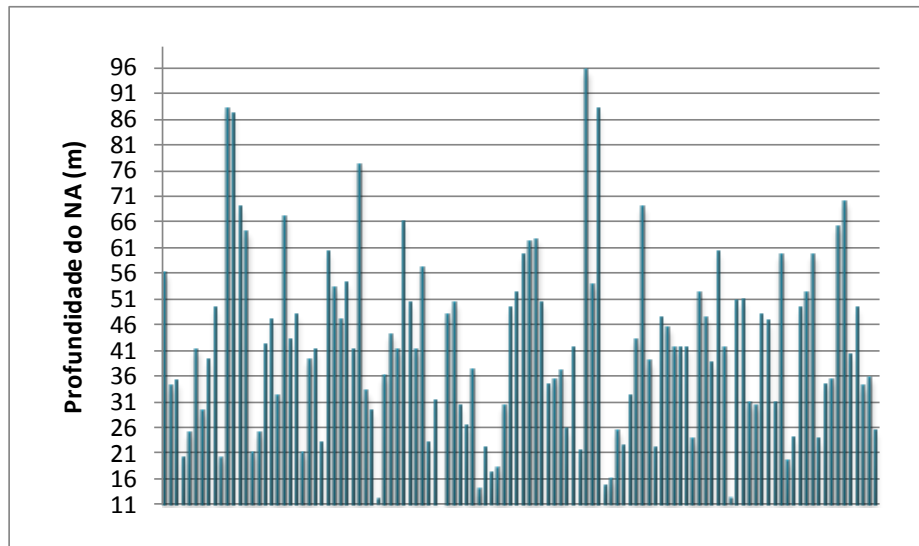


Figura 1.60 – Variação do nível da água subterrânea no SAG - área piloto de São Gabriel do Oeste (MS).

O Quadro 1.27 apresenta as profundidades do NA obtidas nas SEVs e nas seções de IEs. Vale lembrar que os valores de NAs nos IEs foram obtidos no centro de cada seção.

As seções geolétricas buscam descrever o comportamento e inter-relacionamento das eletrofácies identificadas nas interpretações de dados obtidos nos levantamentos geofísicos. Uma vez que as eletrofácies podem ser associadas aos litotipos característicos de unidades litoestratigráficas, as seções geolétricas são produtos que auxiliam no entendimento das relações estratigráficas e estruturais. Nesse sentido, são apresentadas cinco seções geolétricas ilustradas nas Figuras 1.61 a 1.65, localizadas conforme indicação no mapa da Figura 1.57.

Os ensaios geofísicos não distinguiram a Formação Estrada Nova, unidade que corresponde ao substrato do SAG na área piloto de São Gabriel do Oeste. Todavia, foi possível estimar as espessuras das unidades componentes do SAG, formações Botucatu e Pirambóia, ainda que para esta última as espessuras devam ser consideradas mínimas, uma vez que não foi determinado o topo da Formação Estrada Nova (Quadro 1.28).

O critério estabelecido para individualização dessas unidades foi baseado na identificação da superfície de menor resistividade registrada nos perfis geolétricos, que permitiu distinguir a unidade Botucatu (geralmente mais resistiva), acima, da unidade Pirambóia (geralmente menos resistiva), a seguir.

A espessura máxima registrada para a Formação Botucatu foi de 109 metros (SEV-97), a mínima de 6,7 metros (SEV-16) e a média de 44,38 metros. Ressalta-se que a espessura determinada na SEV-63 (174,95) é superestimada, pois normalmente é inferior a 100 metros. Neste caso, deve estar abrangendo parte da Formação Pirambóia.

**QUADRO 1.27 – IDENTIFICAÇÃO DOS ENSAIOS GEOFÍSICOS E PROFUNDIDADE DO NA**

SEV	NA (m)	SEV	NA (m)	IEs	NA (m)
SEV-01	34,20	SEV-51	47,90	IE-01	56,00
SEV-02	35,10	SEV-52	30,00	IE-02	34,00
SEV-03	36,70	SEV-53	16,75	IE-03	35,00
SEV-04	25,40	SEV-54	48,00	IE-04	20,00
SEV-05	41,30	SEV-55	46,65	IE-05	25,00
SEV-06	40,20	SEV-56	30,70	IE-06	41,00
SEV-07	40,20	SEV-57	59,45	IE-07	29,00
SEV-08	49,20	SEV-58	61,45	IE-08	39,00
SEV-09	21,35	SEV-59	60,25	IE-09	49,00
SEV-10	95,30	SEV-60	30,30	IE-10	20,00
SEV-11	53,60	SEV-61	8,55	IE-11	88,00
SEV-12	87,90	SEV-62	19,50	IE-12	87,00
SEV-13	14,50	SEV-63	39,00	IE-13	69,00
SEV-14	16,95	SEV-64	24,00	IE-14	64,00
SEV-15	15,80	SEV-65	34,60	IE-15	21,00
SEV-16	25,10	SEV-66	51,80	IE-16	25,00
SEV-17	46,00	SEV-67	49,20	IE-17	42,00
SEV-18	22,25	SEV-68	52,00	IE-18	47,00
SEV-19	32,00	SEV-69	59,55	IE-19	32,00
SEV-20	43,10	SEV-70	62,00	IE-20	67,00
SEV-21	69,00	SEV-71	62,50	IE-21	43,00
SEV-22	38,80	SEV-72	14,10	IE-22	48,00
SEV-23	21,90	SEV-73	30,30	IE-23	21,00
SEV-24	25,10	SEV-74	20,20	IE-24	39,00
SEV-25	23,45	SEV-75	23,60	IE-25	41,00
SEV-26	47,30	SEV-76	34,20	IE-26	23,00
SEV-27	64,45	SEV-77	50,60	IE-27	60,00
SEV-28	45,40	SEV-78	34,40	IE-28	53,00
SEV-29	41,30	SEV-79	35,15	IE-29	47,00
SEV-30	41,30	SEV-80	65,00	IE-30	54,00
SEV-31	22,55	SEV-81	43,60	IE-31	41,00
SEV-32	41,30	SEV-82	70,00	IE-32	77,00
SEV-33	33,75	SEV-83	41,30	IE-33	33,00
SEV-34	21,25	SEV-84	40,10	IE-34	29,00
SEV-35	23,60	SEV-85	49,20	IE-35	12,00
SEV-36	51,95	SEV-86	37,00	IE-36	36,00
SEV-37	47,10	SEV-87	22,20	IE-37	44,00
SEV-38	38,30	SEV-88	47,25	IE-38	41,00
SEV-39	60,25	SEV-89	34,20	IE-39	66,00
SEV-40	41,30	SEV-90	23,80	IE-40	50,00
SEV-41	41,20	SEV-91	33,80	IE-41	41,00
SEV-42	57,10	SEV-92	29,10	IE-42	57,00
SEV-43	23,15	SEV-93	35,60	IE-43	23,00
SEV-44	12,15	SEV-94	25,10	IE-44	31,00
SEV-45	47,30	SEV-95	39,15	IE-45	11,00
SEV-46	50,40	SEV-96	47,30	IE-46	48,00
SEV-47	50,60	SEV-97	14,45	IE-47	50,00
SEV-48	30,70	SEV-98	30,70	IE-48	30,00
SEV-49	26,10	SEV-99	47,30	IE-49	26,00
SEV-50	61,10	SEV-100	51,95	IE-50	37,00
				IE-51	14,00
				IE-52	22,00
				IE-53	17,00
				IE-54	18,00
				IE-55	30,00
				IE-56	49,00
				IE-57	52,00
				IE-58	59,50
				IE-59	62,00
				IE-60	62,50
				IE-61	50,00

### SEÇÃO GEOELÉTRICA AB

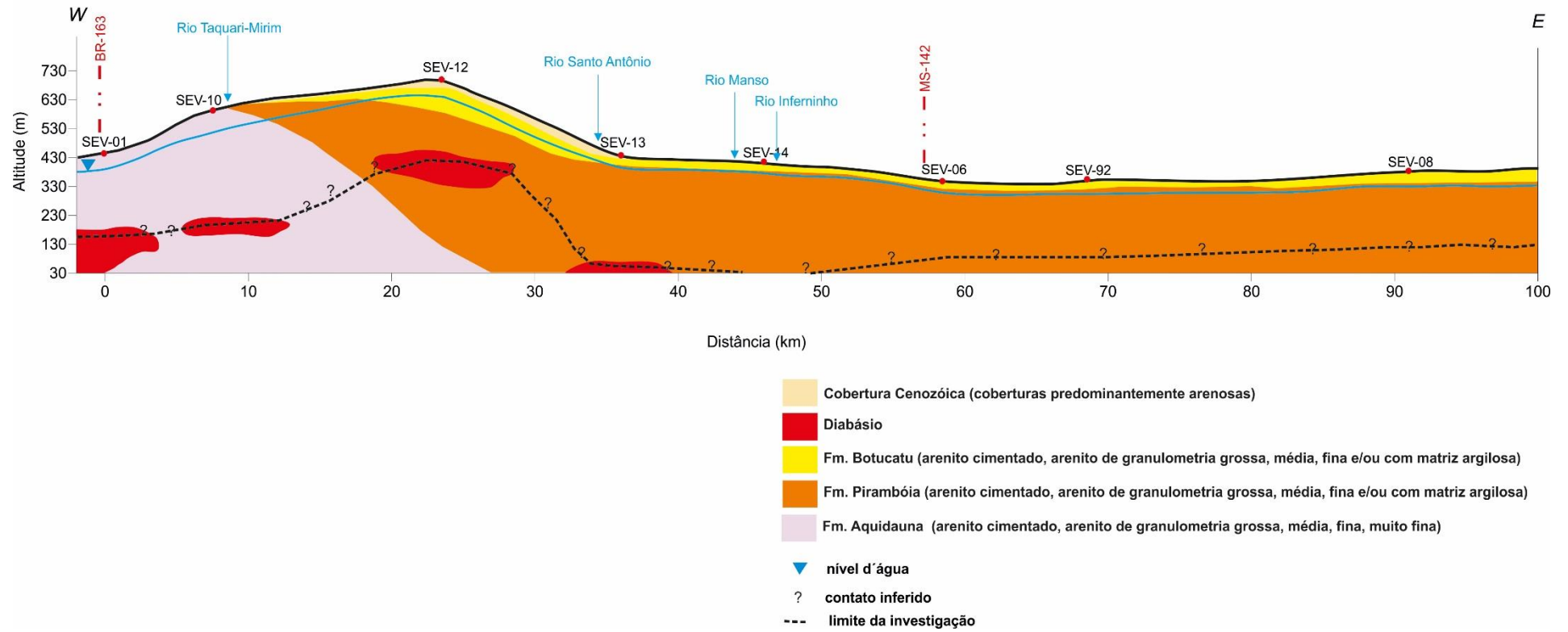


Figura 1.61 – Seção geolétrica AB.



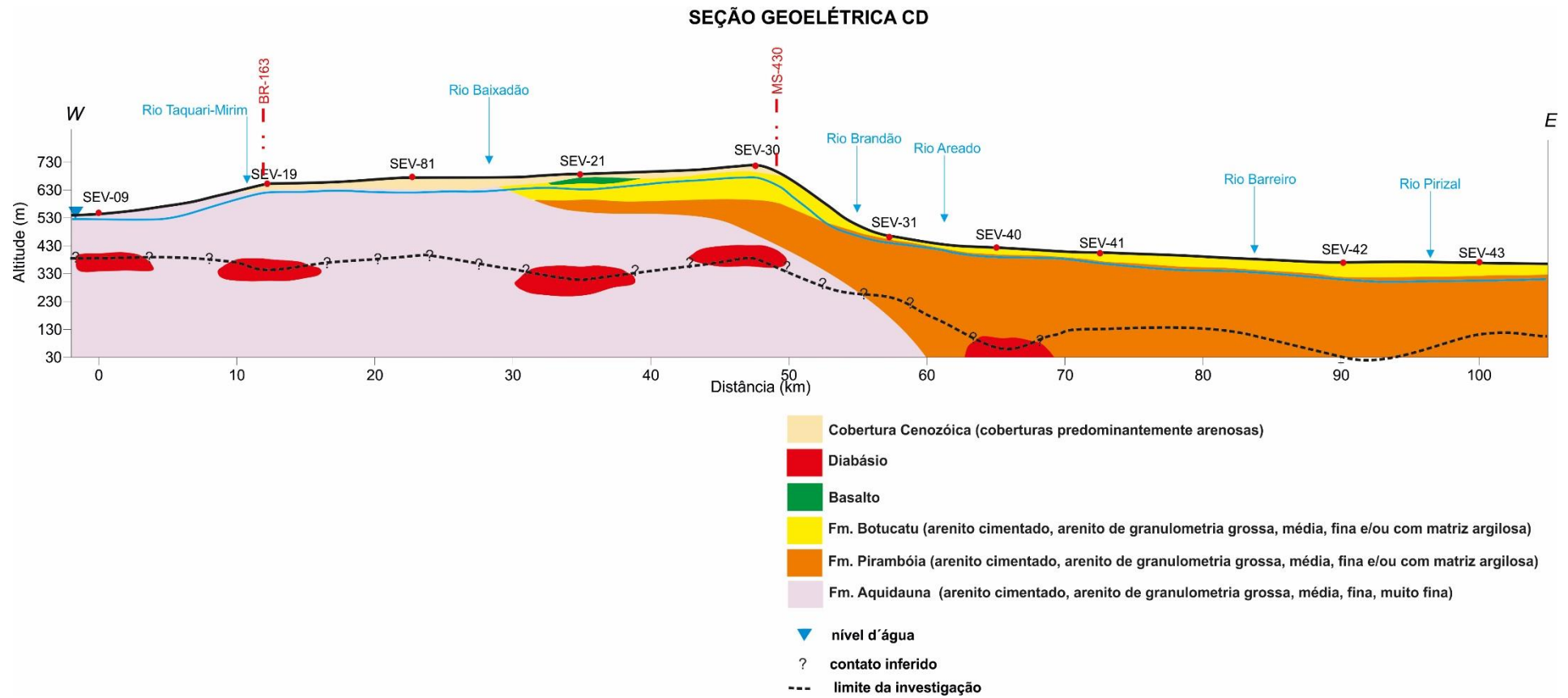


Figura 1.62 – Seção geolétrica CD.

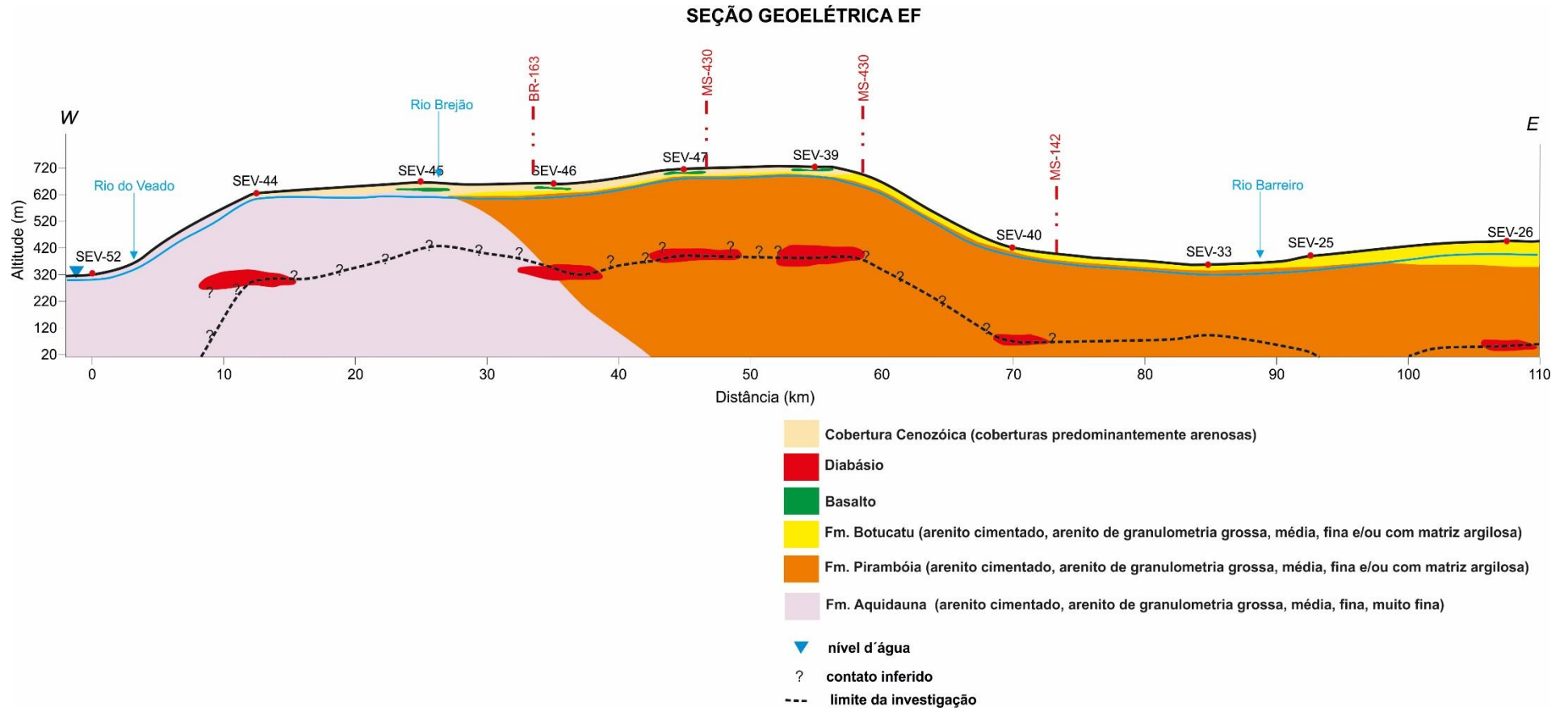


Figura 1.63 – Seção geoeletrica EF.

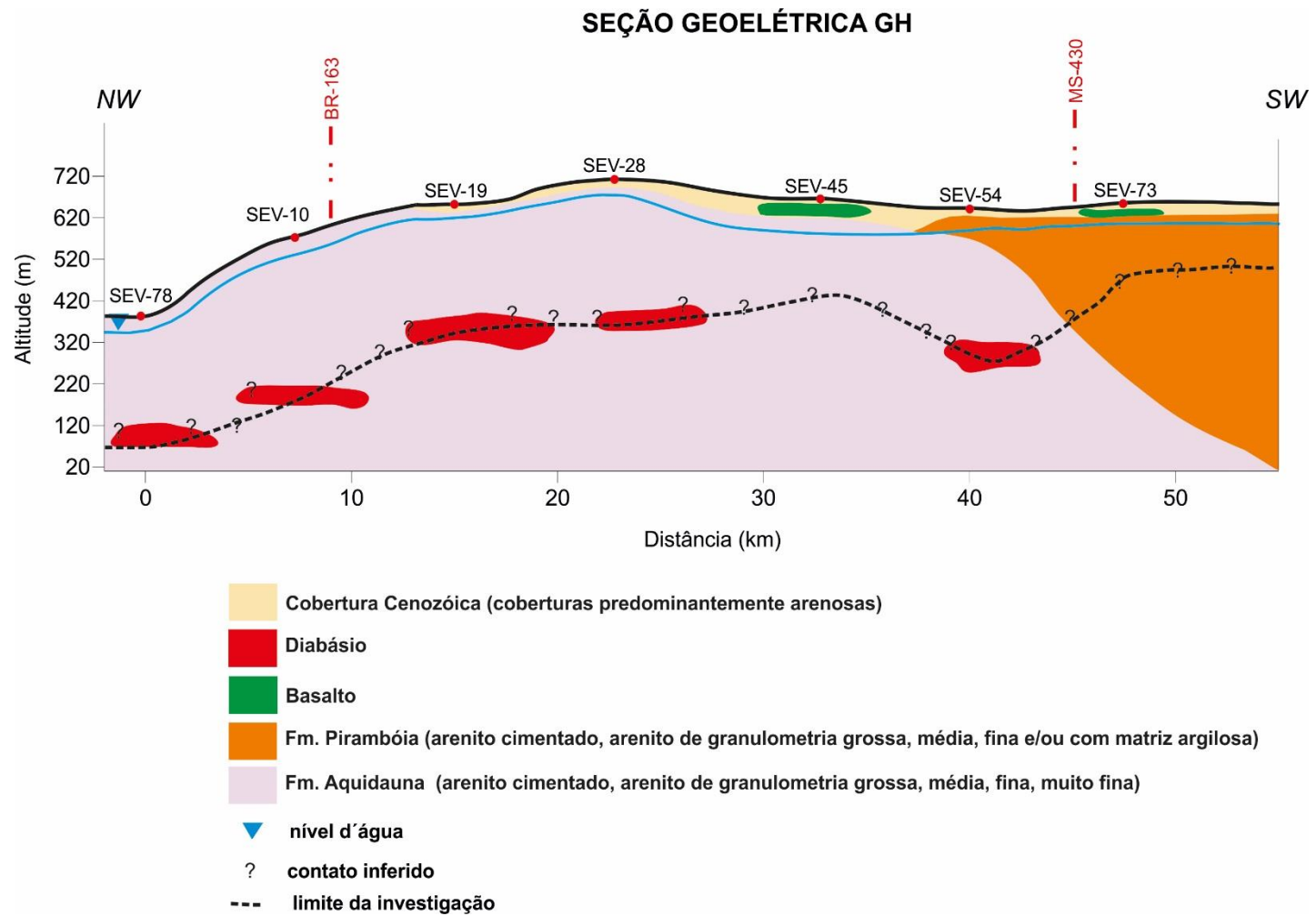


Figura 1.64 – Seção geoeletrica GH.

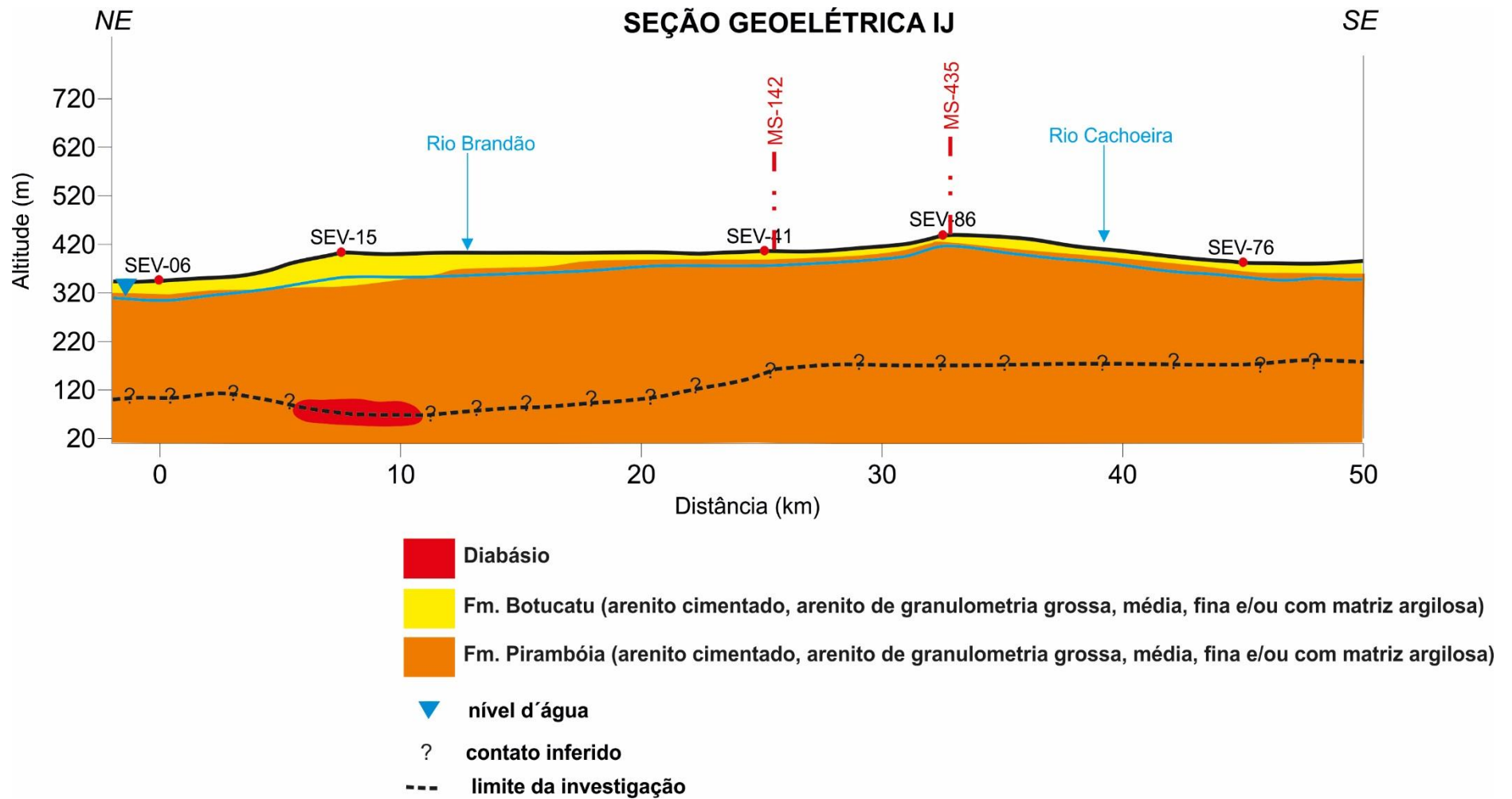


Figura 1.65 – Seção geoelétrica IJ.

**QUADRO 1.28 – ESPESSURAS ESTIMADAS DAS FORMAÇÕES BOTUCATU E PIRAMBÓIA**

SEV	Espessura Fm. Botucatu (m)	Espessura Fm. Pirambóia (m)
SEV-04	ni	221,45
SEV-05	ni	365,70
SEV-06	41,45	204,6*
SEV-07	40,20	173,75*
SEV-08	49,20	156,25*
SEV-12	81,20	170,45
SEV-13	ni	343,05
SEV-14	16,95	379,55
SEV-15	68,80	102,30
SEV-16	6,70	385,70
SEV-17	46,00	385,2*
SEV-21	32,35	72,80
SEV-23	60,25	208,75
SEV-24	43,10	269,60*
SEV-25	23,45	377,20*
SEV-26	104,75	292,92
SEV-31	22,55	191,45*
SEV-32	41,30	304,15
SEV-33	33,75	224,40*
SEV-34	21,25	174,55*
SEV-38	32,70	289,60
SEV-39	ni	273,55
SEV-40	39,75	317,55
SEV-41	41,20	231,80*
SEV-42	57,10	304,80
SEV-43	23,15	227,05*
SEV-46	41,50	290,50
SEV-47	30,10	269,95
SEV-48	12,30	321,55
SEV-49	26,10	171,20*
SEV-50	61,20	47,90*
SEV-51	47,90	92,95*
SEV-54	ni	50,35
SEV-55	53,85	211,50
SEV-56	63,25	229,15
SEV-57	59,45	244,25
SEV-58	61,45	252,90*
SEV-59	47,90	146,75*
SEV-60	30,30	235,55*
SEV-62	ni	137,30
SEV-63	174,95	77,75*
SEV-64	ni	309,60
SEV-65	34,60	214,50*
SEV-66	51,80	243,70*
SEV-68	74,90	192,80
SEV-69	59,55	273,20
SEV-71	62,50	217,60*
SEV-73	ni	119,10*
SEV-74	74,60	137,15*
SEV-75	29,80	265,00
SEV-76	34,20	155,30*
SEV-77	50,60	204,30*
SEV-85	24,20	267,05
SEV-86	34,00	239,40*
SEV-87	22,20	159,80*
SEV-88	47,25	225,45*
SEV-89	34,20	238,20
SEV-92	29,10	202,85*
SEV-94	ni	293,90
SEV-96	47,30	178,50*
SEV-97	109,00	ni
SEV-98	30,70	169,30*
SEV-99	47,30	244,30*

ni formação não identificada na SEV

\* até o limite da profundidade de investigação da SEV (último estrato geolétrico) a formação foi identificada, impossibilitando definir a espessura total

A maior espessura estimada para a Formação Pirambóia foi de 385,7 metros (SEV – 16), a menor foi de 47,9 metros (SEV – 50) e a média de 246,2 metros (Quadro 1.28). Ressalta-se que as espessuras registradas pelas SEVs devem ser consideradas mínimas, uma vez que o substrato basal da unidade não foi constatado.

A camada resistiva ilustrada nas seções geoeletricas (Figuras 1.61 a 1.65) aparece seccionando diferentes unidades estratigráficas, em diferentes níveis, levando a concluir que sejam corpos de diabásio intercalados nos sedimentos, situação extremamente comum observada na Bacia Geológica do Paraná. O caráter aleatório das intrusões não permite interpretar a camada resistiva como uma superfície única, ou seja, qualquer tentativa de interpretação baseada nesta geometria é rigorosamente desaconselhável.

#### **1.6.4 Comentários sobre Geofísica**

A investigação geofísica de superfície realizada na área piloto de São Gabriel do Oeste (MS) utilizou duas técnicas distintas, com objetivo de determinar a distribuição espacial e espessura do SAG. Foram utilizadas as técnicas de SEV e de IE 2D.

As técnicas forneceram dados sobre nível d'água, resistividades dos níveis geoeletricos interpretados, associadas à litologia provável do local estudado (eletrofácies), espessuras das camadas, profundidades do topo de estratos geoeletricos e cotas de topo de estratos geoeletricos.

A técnica de IE foi calibrada com a descrição de amostras de calha de alguns poços. Essa associação não permitiu correlação totalmente efetiva, uma vez que os perfis dos poços alcançam profundidade máxima de 60 metros e as técnicas aplicadas no levantamento geofísico, profundidades superiores a 300 metros.

Após a análise morfológica das 100 curvas das SEVs e das 61 seções de IEs foi possível identificar, em relação à resistividade, valores de resistividade altos, típicos de arenito cimentado, ou de basalto, ou de diabásio e ou de laterita; valores intermediários, típico de arenitos de granulometria grossa a média e valores baixos, típico de arenitos com granulometria fina, ou de arenitos com matriz argilosa e ou siltito.

Para a zona não saturada (sedimentos superficiais), os valores de resistividade obtidos apresentam uma ampla gama de variação (17,60 a 54.573,35 ohm.m). Os valores inferiores a 100 ohm.m, identificados nessa zona, provavelmente estão relacionados às coberturas cenozoicas argilosas e/ou basalto alterado. Caso esses valores de resistividade ocorram em estratos geoeletricos com profundidades inferiores a 2 metros, podem ainda estar associados a sedimentos arenosos inconsolidados saturados devido à infiltração de água por precipitação. Já os valores superiores a 5.000 ohm.m correspondem, provavelmente, aos níveis de base da cobertura cenozoica representado por camadas lateríticas, ou a arenitos cimentados e ou ainda a rocha basáltica.

Para a zona saturada, os diferentes níveis geoeletricos obtidos foram agrupados em termos de litologia. A partir da correlação dos níveis geoeletricos com a geologia local foram identificadas as seguintes eletrofácies: arenito cimentado ou diabásio; arenito de granulometria grossa a média e arenito de granulometria fina e/ou com matriz argilosa ou siltito.

Na maioria dos modelos geoeletricos das SEVs, em profundidades que variam de 118,9 metros (SEV-18) a 397,7 (SEV-26), encontra-se um estrato com valores de resistividade entre 1.007,55 ohm.m a 32.631,12 ohm.m. Esse estrato foi correlacionado à presença de corpos de diabásio que ocorrem em níveis diferenciados da estratigrafia local, intercalados nos sedimentos. Nos IEs esse estrato não foi mapeado, pois as profundidades máximas de investigação não atingiram este estrato.

A profundidade do lençol freático (NA), determinada a partir da definição entre as zonas não saturada e saturada nas SEVs e nos IEs, variou entre 8,55 metros (Sudoeste da área piloto) e 95,30 metros (Noroeste da área piloto), prevalecendo a profundidade de 41 metros.

Com base nas seções geoeletricas e nas interpretações das SEVs foi possível estimar as espessuras da Formação Botucatu e Pirambóia. A maior espessura estimada para a Formação Botucatu foi de 109 metros (SEV – 97), a mínima de 6,7 metros (SEV – 16) e média de 44,38 metros. A SEV-63 registra espessura de 174,95 metros, todavia deve abranger parte da Formação Pirambóia.

A maior espessura estimada para a Formação Pirambóia foi de 385,7 metros (SEV – 16), a menor de 47,9 metros (SEV – 50) e a média de 246,2 metros, salientando-se que estas espessuras devem ser consideradas mínimas.

A camada resistiva que aparece seccionando diferentes unidades estratigráficas, em diferentes níveis, deve corresponder a corpos de diabásio intercalados nos sedimentos.

Finalmente, nota-se que as diferentes técnicas geofísicas aplicadas nesse estudo atingiram o objetivo proposto, com as limitações inerentes a cada uma. A utilização de mais de uma técnica geofísica, juntamente com os dados de levantamento geológico, minimizaram ambiguidades que ocorrem em aquisições que utilizam métodos indiretos de investigação.

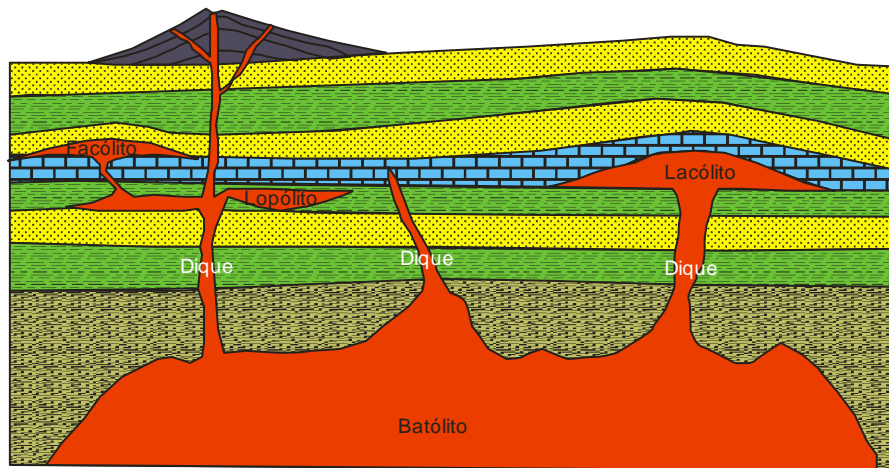
## **1.7 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DE SUBSUPERFÍCIE**

### **1.7.1 Mapas de Contorno Estrutural, Isópacas, Espessura e Profundidade**

O conjunto de dados composto por perfis litoestratigráficos elaborados com base em descrições de amostras de calha oriundas da perfuração de poços tubulares profundos, incluindo alguns poços perfurados para pesquisa de hidrocarbonetos na bacia do Paraná (BDEP/ANP), perfis e seções geoeletricas elaboradas com dados de sondagens elétricas verticais e de imageamentos elétricos 2D, e levantamentos geológicos na escala 1:50.000 da área piloto de São Gabriel do Oeste permitiu esboçar, ainda que preliminarmente, a configuração do arcabouço geológico da área e auxiliar no entendimento da hidrogeologia local.

As interpretações de dados geofísicos mostraram a existência de camada de elevada resistividade na base da maioria das sondagens elétricas verticais. Uma tentativa inicial de correlação com as formações geológicas da Bacia do Paraná sugeriu que esta superfície resistiva poderia corresponder ao topo das camadas devonianas da Formação Ponta Grossa, aflorante na porção oeste da área piloto de São Gabriel do Oeste. Todavia, uma análise mais acurada demonstrou que a configuração desta superfície se mostrava inconsistente com o arcabouço estrutural delineado nos levantamentos geológicos. Adicionalmente, esta camada resistiva aparece seccionando diferentes unidades estratigráficas, em diferentes níveis, levando a concluir que sejam corpos de diabásio intercalados nos sedimentos, situação extremamente comum observada na Bacia Geológica do Paraná.

O perfil composto do poço de Rio Aporé (Cassilândia – MS), disponibilizado pela Agência Nacional do Petróleo (ANP) à Agência Nacional de Águas (ANA) exhibe uma intrusão de rochas diabásicas com 165 metros de espessura no intervalo estratigráfico atribuído à Formação Botucatu. Já o perfil do poço de Jataí (GO), também disponibilizado pela ANP, mostra uma soleira de diabásio com 5 metros de espessura no intervalo estratigráfico atribuído à Formação Botucatu, e uma soleira de 15 metros de espessura posicionada na Formação Teresina, logo abaixo do contato com a Formação Botucatu, esclarecendo-se que neste poço não foi reconhecida a presença da Formação Pirambóia. Estes perfis, além de outros originados das atividades de exploração de hidrocarbonetos na Bacia Geológica do Paraná, confirmam a presença de frequentes e expressivas intrusões de rochas básicas em diferentes níveis e unidades estratigráficas. Para complicar, os corpos magmáticos podem ser concordantes ou não com o acamamento das rochas e podem ser classificados como diques, lacólitos, lopólitos, facólitos, batólitos etc. (Figura 1.66), dependendo de sua geometria.



**Figura 1.66 – Geometrias de corpos intrusivos.**

O caráter aleatório dessas intrusões não permite interpretar a camada resistiva como uma superfície única contínua, ou seja, qualquer tentativa de interpretação baseada na geometria desta superfície é rigorosamente desaconselhável pelos motivos expostos acima.



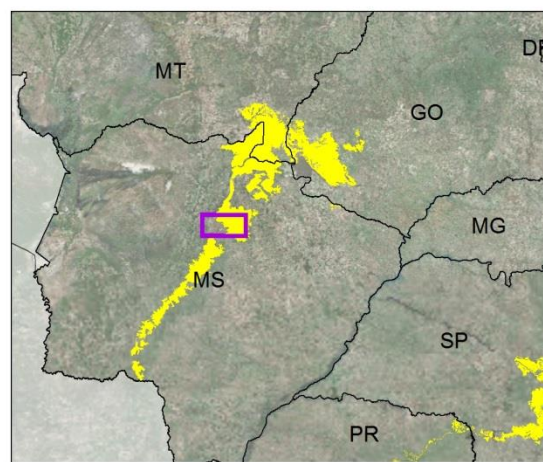
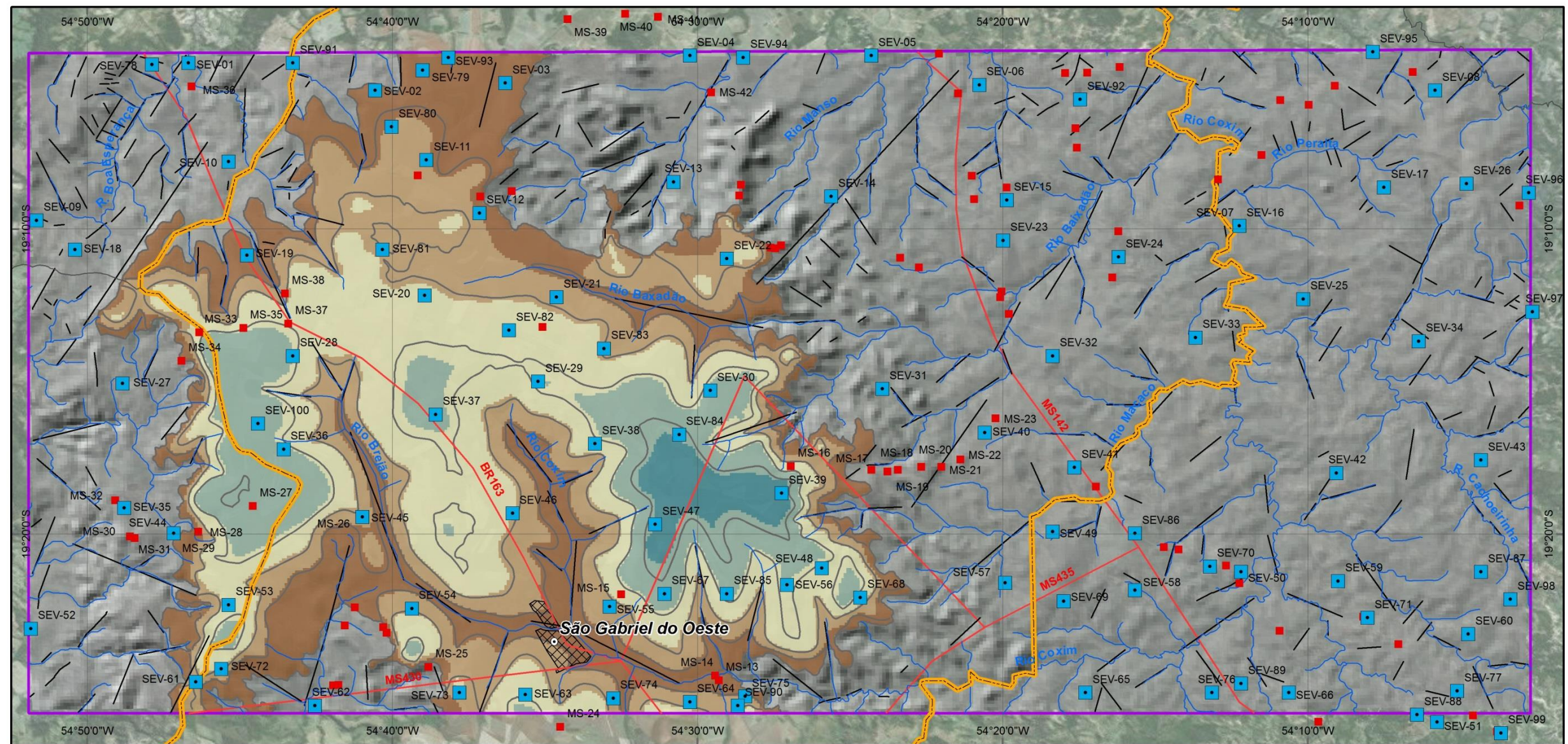
Por outro lado, as interpretações geofísicas não distinguiram a superfície basal do SAG, constituída normalmente pela Formação Estrada Nova. A Formação Estrada Nova foi identificada e mapeada em apenas alguns afloramentos na região ocidental da chapada de São Gabriel do Oeste, não sendo observada nos limites das escarpas a leste, que delimitam a cobertura cenozoica sobrejacente às unidades geológicas mais antigas. Nenhum poço localizado na área piloto e cadastrado no SIAGAS, contendo perfil estratigráfico, registrou a ocorrência da Formação Estrada Nova em subsuperfície. Esta situação sugere que essa unidade mergulha levemente, a partir do bordo oeste do chapadão, em direção ao eixo da bacia, assim como as demais unidades paleozoicas e mesozoicas que ocorrem na área, corroborando o padrão de mergulho regional das unidades estratigráficas da Bacia Geológica do Paraná, como mostrado esquematicamente na Figura 1.14.

A impraticabilidade de se delinear um contorno estrutural da base do SAG também afasta a possibilidade de se determinar precisamente as variações de espessura total do aquífero, em subsuperfície, na área piloto de São Gabriel do Oeste. Todavia, é possível apontar espessuras mínimas do SAG a partir dos dados geofísicos, considerando o trecho que vai desde a superfície do terreno até o contato com a camada resistiva (diabásio), as quais variam entre 118,9 metros e 397,7 metros, com média de 320 metros.

Por outro lado, os levantamentos geofísicos conseguiram estabelecer um critério para individualização das unidades litoestratigráficas Botucatu e Pirambóia, componentes do SAG. O critério, baseado na identificação da superfície de menor resistividade dos perfis geoeletricos, permitiu distinguir a unidade Botucatu (geralmente mais resistiva), acima deste ponto, da unidade Pirambóia (geralmente menos resistiva), abaixo deste ponto. Esta distinção é corroborada por dados de poços perfurados para exploração de hidrocarbonetos na bacia (BDEP/ANP), que apontam resistividades baixas para a unidade Pirambóia na região norte de ocorrência do SAG. Segundo este critério, as espessuras mínimas da Formação Botucatu variam entre 6,7 metros e 109 metros, com média de 44,38 metros, e da Formação Pirambóia entre 47,90 e 385,70 metros, com média de 228,52 metros (Quadro 1.28).

Os resultados dos estudos têm sugerido que a cobertura cenozoica da chapada de São Gabriel do Oeste, conforme referido anteriormente, estende-se em discordância angular e erosiva (desconformidade) sobre rochas mais antigas, cuja idade aumenta progressivamente no sentido de leste para oeste. Assim é que, no bordo leste, os sedimentos cenozoicos assentam-se sobre os basaltos da Formação Serra Geral e, na medida em que se avança para oeste, estes sedimentos recobrem sucessivamente as formações Botucatu, Pirambóia, Estrada Nova e Aquidauana.

Esta situação estrutural é decorrente de movimentos flexurais produzidos pela acentuada sobrecarga sedimentar/ígnea no depocentro da bacia, refletindo no alçamento das camadas marginais, posteriormente erodidas e recobertas pelos sedimentos cenozoicos. O mapa de isópacas da cobertura cenozoica mostra espessuras máximas de cerca de 50 metros na porção oeste da sua área de ocorrência, e variações de espessura controladas pela topografia do terreno e irregularidades do contato basal (Figura 1.67).



Localização da área-piloto no estado de Mato Grosso do Sul

**Convenções cartográficas**

- Rios
- Rodovias
- Sedes Municipais
- Sede - São Gabriel do Oeste
- Limites Municipais
- Município de São Gabriel do Oeste
- Área piloto no MS

**Geofísica**

- SEVs
- Pontos de Controle de Afloramento
- Lineamentos
- Isópacas

**Espessura da Cobertura**

- Cenozóica (m)**
- 0 - 10
  - 10,1 - 20
  - 20,1 - 30
  - 30,1 - 40
  - 40,1 - 50

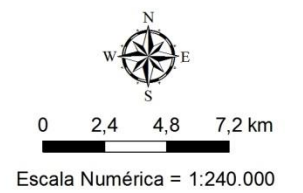


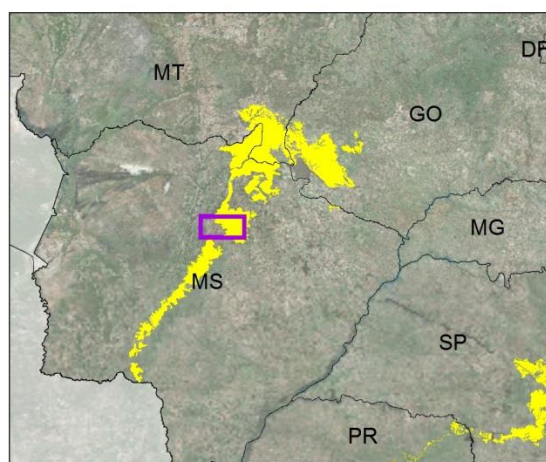
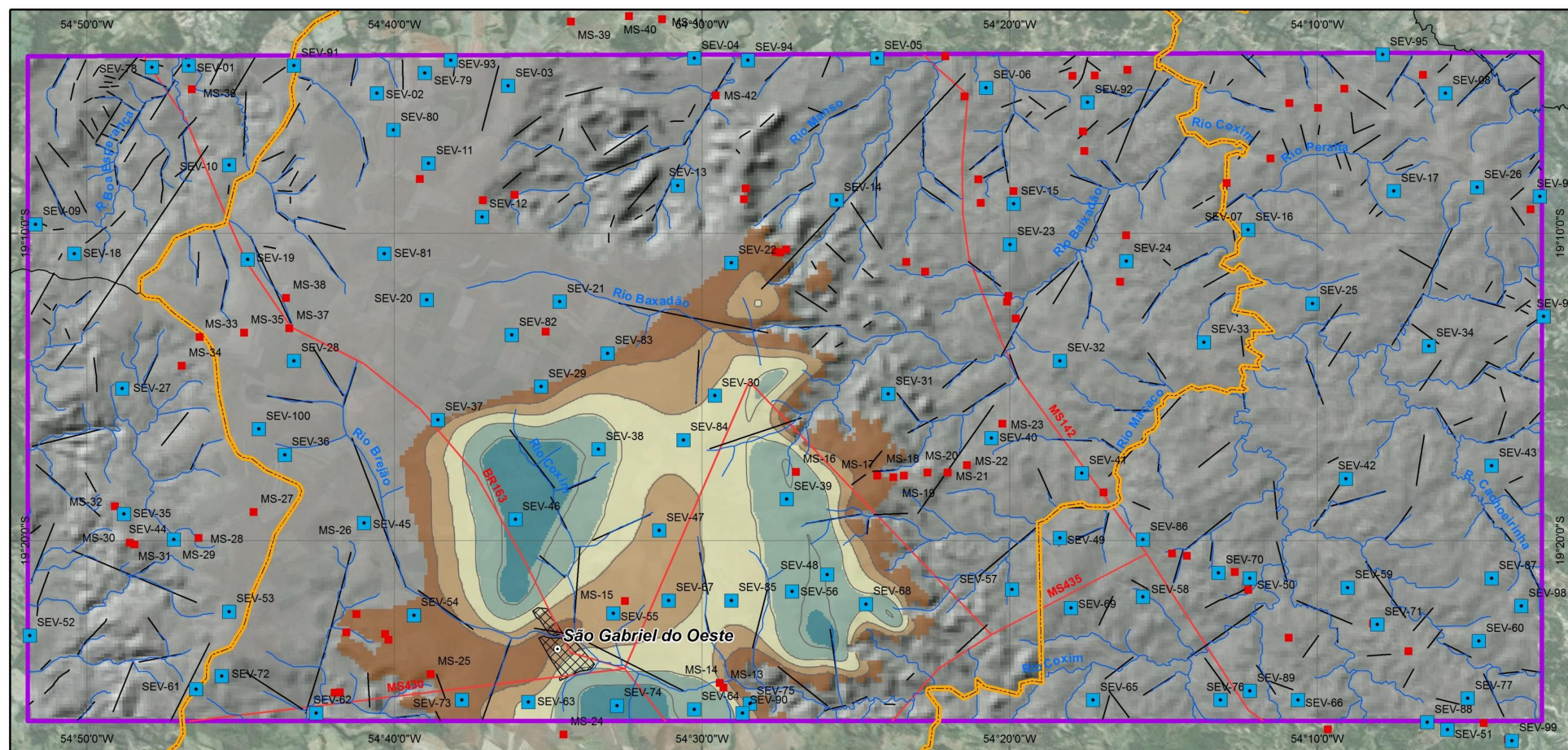
Figura 1.67 – Mapa de isópacas da cobertura cenozóica

As rochas basálticas que capeiam a Formação Botucatu, reunidas na Formação Serra Geral, afloram em estreita faixa margeando o bordo leste da chapada de São Gabriel. Sob a cobertura cenozoica, essas rochas têm sua espessura diminuída gradativamente, até a completa ausência, em direção ao limite oeste da chapada, aproximadamente como delineado no mapa da Figura 1.68. Sua espessura na área piloto não ultrapassa 50 metros, mas em direção às porções meridionais mostra tendência de espessamento. Dados de poços profundos sugerem que a Formação Serra Geral interdigita-se com sedimentos do topo da Formação Botucatu, fazendo com que possam coexistir, lado a lado, poços que atravessaram e poços que não atravessaram rochas basálticas.

Com base nos mapas de espessura da cobertura cenozoica e de espessura das rochas basálticas, foi gerado o mapa de espessura total das unidades pós-SAG (Figura 1.69), cujos valores máximos são inferiores a 90 metros próximos aos bordos leste e zona central da Chapada de São Gabriel do Oeste.

Como explanado anteriormente no item referente à geologia estrutural da área piloto (item 1.1.3), os limites ocidentais do SAG encontram-se ocultos sob a cobertura cenozoica. À luz dos dados geológicos e geofísicos obtidos durante as pesquisas realizadas na área piloto, esses limites não puderam ser claramente definidos, portanto os limites aqui assumidos representam apenas uma aproximação dessa fronteira, baseada no arcabouço estrutural da área e no conhecimento implícito da geologia da Bacia do Paraná.

Com base nesses limites e no mapa de espessura da cobertura pós-SAG, foi gerado o mapa de isóbatas (curvas de nível de igual profundidade) do topo do aquífero (Figura 1.70). O mapa de isóbatas do topo do SAG revela que, na maior parte de sua extensão em subsuperfície, a espessura da cobertura rochosa é da ordem de 40 metros a 60 metros, mas pode alcançar valores maiores junto ao bordo leste e porção central da área da Chapada de São Gabriel do Oeste.



Localização da área-piloto no estado de Mato Grosso do Sul

**Convenções cartográficas**

- Rios
- Rodovias
- Sedes Municipais
- Sede - São Gabriel do Oeste
- Limites Municipais
- Município de São Gabriel do Oeste
- Área piloto no MS

**Geofísica**

- SEVs
- Pontos de Controle de Afloramento
- Lineamentos
- Isópacas

**Espessura da Formação Serra Geral (m)**

- 0 - 10
- 10,1 - 20
- 20,1 - 30
- 30,1 - 40
- 40,1 - 50

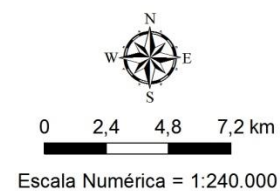
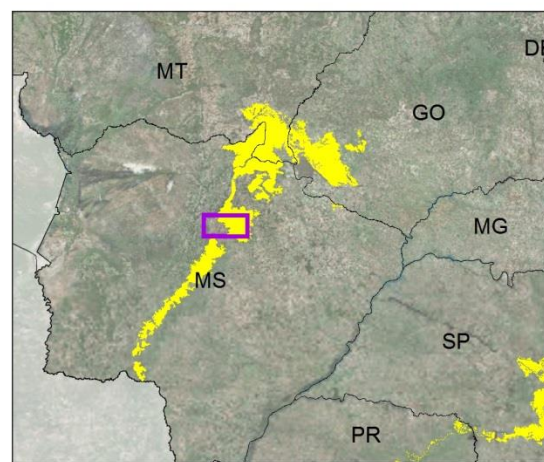
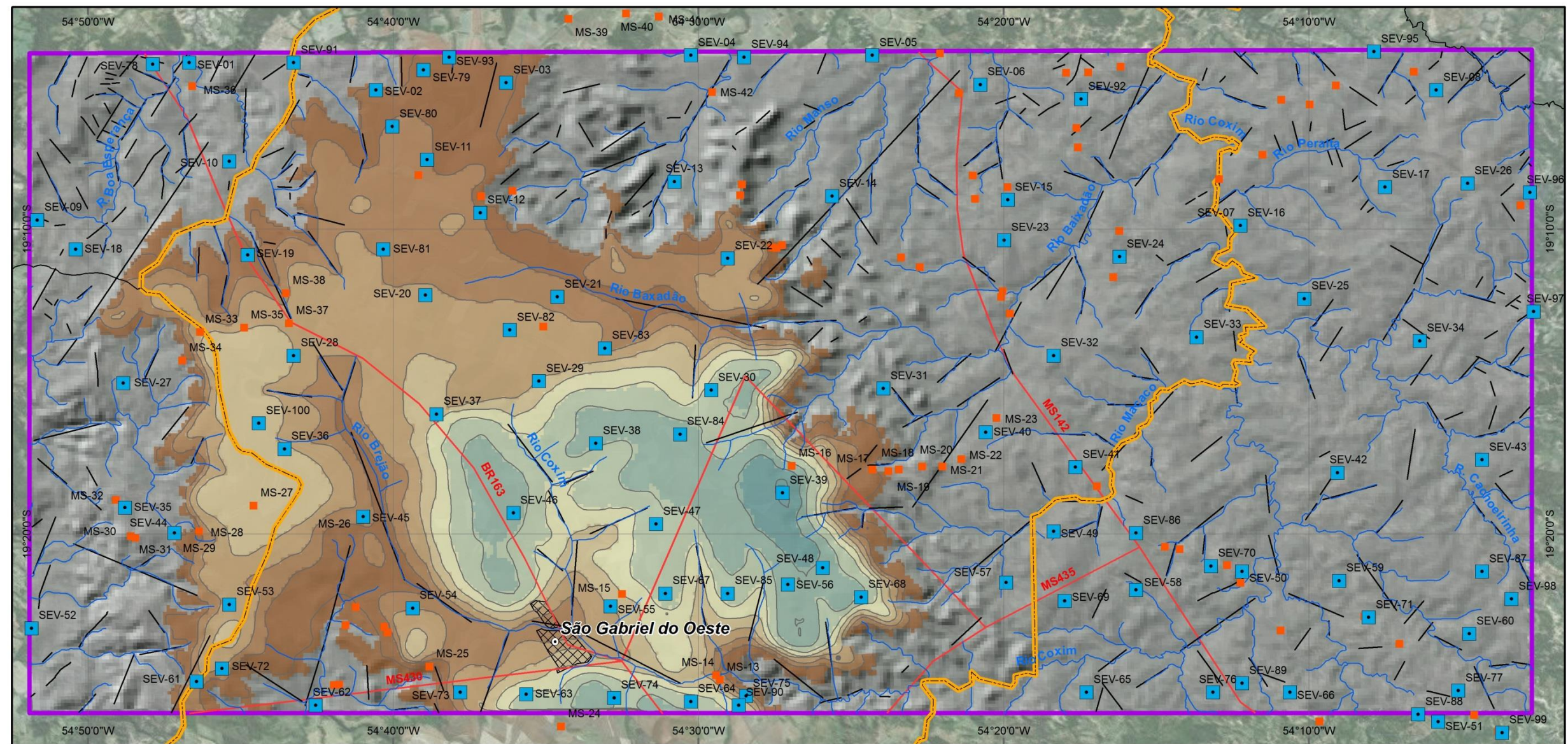


Figura 1.68 – Mapa de isópacas da Formação Serra Geral.



Localização da área-piloto no estado de Mato Grosso do Sul

**Convenções cartográficas**

- Rios
- Rodovias
- Sedes Municipais
- Sede - São Gabriel do Oeste
- Limites Municipais
- Município de São Gabriel do Oeste
- Área piloto no MS

**Geofísica**

- SEVs
- Pontos de Controle de Afloramento
- Lineamentos
- Isópacas

**Espessura das Unidades pós-SAG (m)**

- 0 - 10
- 10,1 - 20
- 20,1 - 30
- 30,1 - 40
- 40,1 - 50
- 50,1 - 60
- 60,1 - 70
- 70,1 - 80
- 80,1 - 90

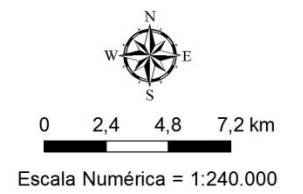
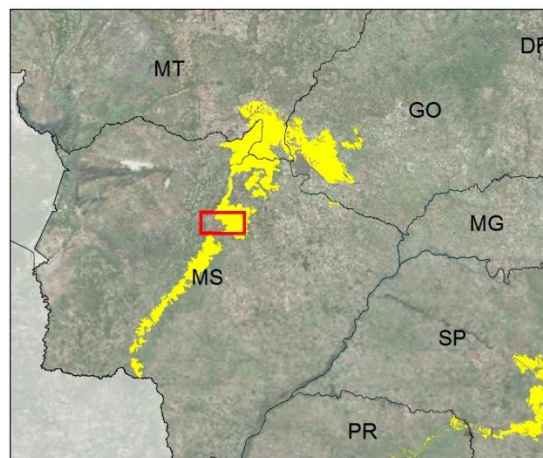
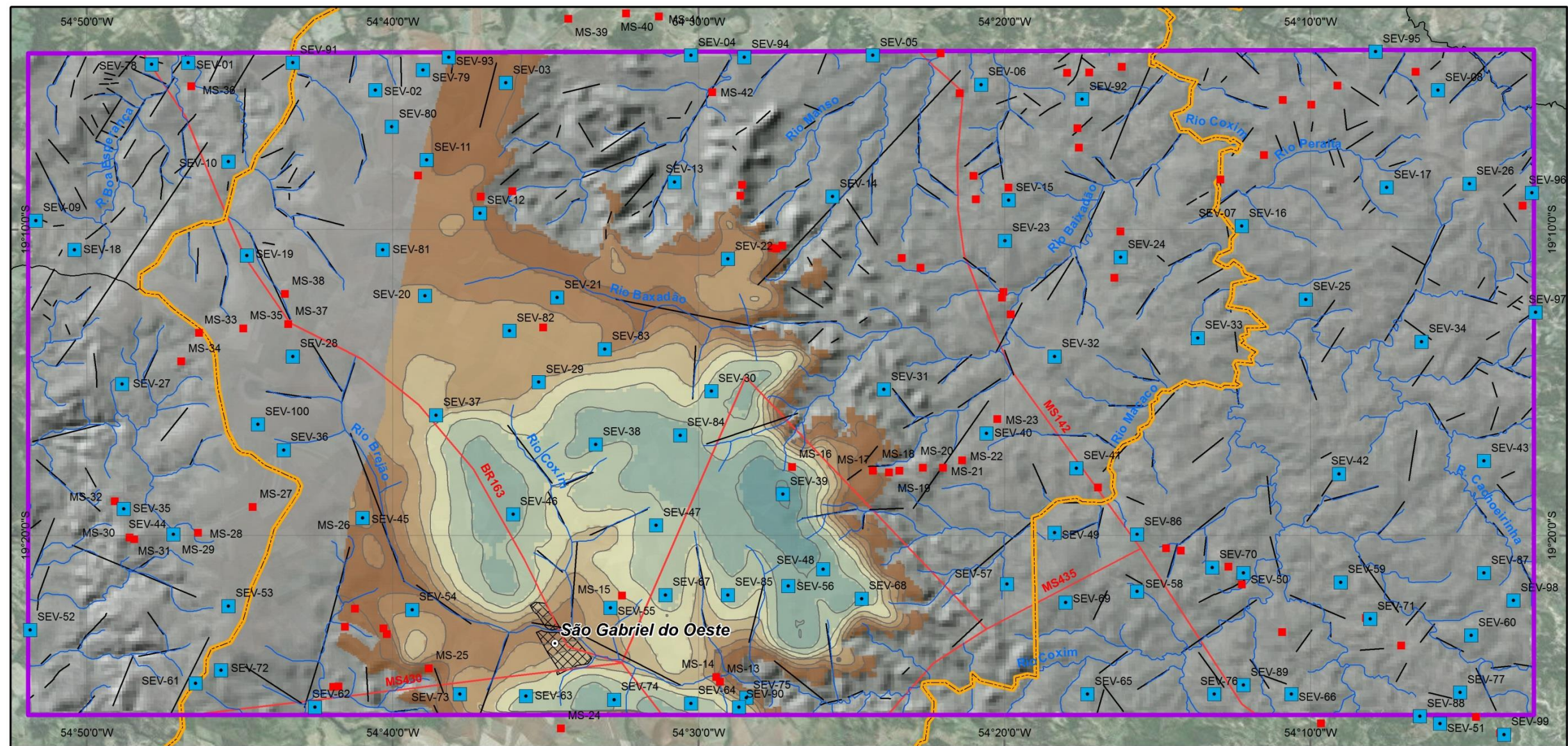


Figura 1.69 – Mapa de espessura das unidades pós-SAG.



Localização da área-piloto no estado de Mato Grosso do Sul

**Convenções cartográficas**

- Rios
- Rodovias
- Sedes Municipais
- Sede - São Gabriel do Oeste
- Limites Municipais
- Município de São Gabriel do Oeste
- Área piloto no MS

**Geofísica**

- SEVs
- Pontos de Controle de Afloramento
- Lineamentos
- Isóbatas

**Profundidade do topo do SAG (m)**

- 0 - 10
- 10,1 - 20
- 20,1 - 30
- 30,1 - 40
- 40,1 - 50
- 50,1 - 60
- 60,1 - 70
- 70,1 - 80
- 80,1 - 90

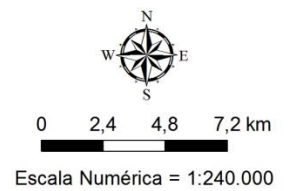


Figura 1.70 – Mapa de profundidade do topo do SAG.

**1.8 MAPEAMENTO HIDROGEOLÓGICO**

**1.8.1 Método para Elaboração do Mapa Hidrogeológico da Área Piloto de São Gabriel do Oeste**

A exemplo do mapa hidrogeológico na escala 1:250.000 do SAG aflorante, o mapa hidrogeológico na escala 1:50.000 da área piloto de São Gabriel do Oeste é composto por temas básicos (drenagens, limites municipais etc.) e por temas específicos, como unidades litoestratigráficas e potenciometria.

As unidades litoestratigráficas foram mapeadas em campo e compõem o mapa geológico da área piloto de São Gabriel do Oeste. A superfície potenciométrica foi obtida do nível de água do aquífero determinado pelas Sondagens Elétricas Verticais (SEVs), realizadas durante o levantamento geofísico (Quadro 1.27). O procedimento adotado para elaboração do mapa potenciométrico consistiu da obtenção de uma equação de correlação entre a altitude e a cota do nível de água determinada pela sondagem geofísica naquele ponto do terreno (Figura 1.71).

As sondagens foram plotadas no Modelo Digital de Terreno (MDT) da área piloto de São Gabriel do Oeste para extração das altitudes dos pontos. A correlação gerou uma equação linear com ajuste de quase 99%, que aplicada aos dados altimétricos do MDT produziu um mapa de carga hidráulica (potenciometria). Os valores de carga hidráulica foram, posteriormente, transformados em isolinhas equipotenciais e inseridos no mapa hidrogeológico.

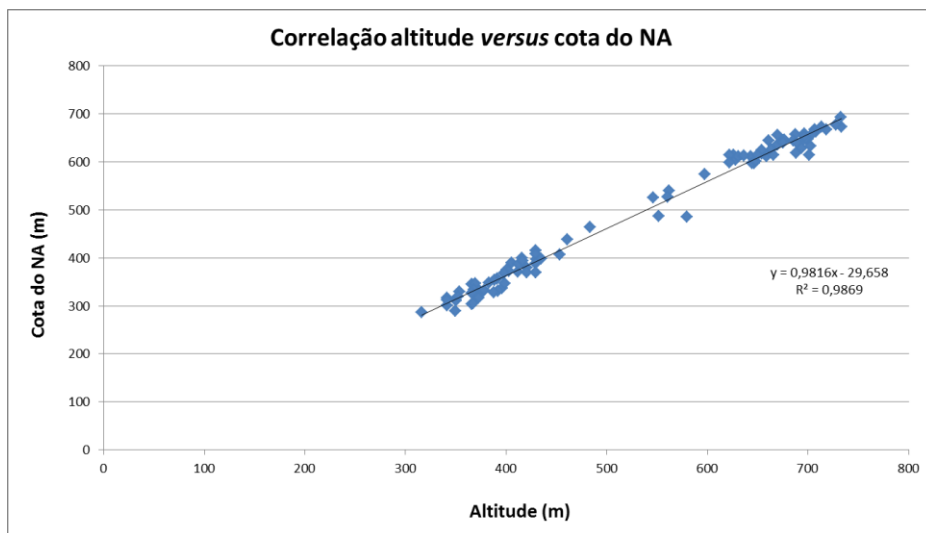


Figura 1.71 – Correlação altitude versus cota do NA.

### 1.8.2 *Mapa Hidrogeológico da Área Piloto de São Gabriel do Oeste*

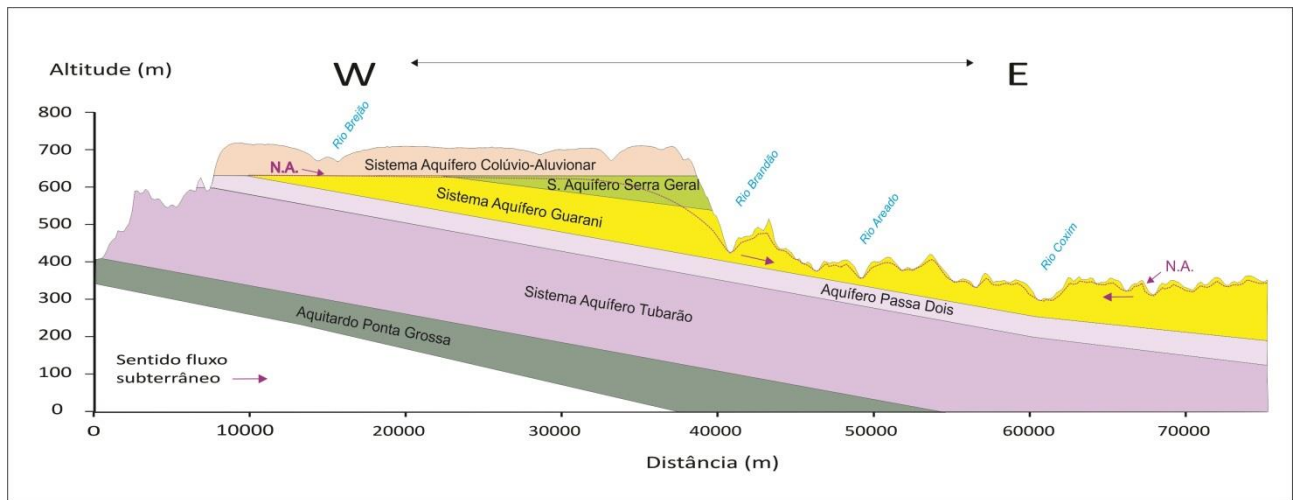
O Sistema Aquífero Guarani na área piloto de São Gabriel do Oeste é composto por duas unidades hidroestratigráficas: Aquífero Botucatu e Aquífero Pirambóia. Seu arcabouço é constituído de rochas sedimentares siliciclásticas continentais, de idade mesozoica, limitado em sua base pela discordância regional permo-eotriássica e, no topo, pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral. O SAG é do tipo granular, homogêneo, contínuo, regionalmente livre em sua porção aflorante e de natureza geralmente confinada quando sob cobertura basáltica (DAEE, 2005). Essas duas unidades hidroestratigráficas possuem características hidrodinâmicas distintas que refletem as vicissitudes dos diferentes ambientes deposicionais que acomodaram seus sedimentos e as modificações decorrentes de sua história evolutiva, como apontadas em vários estudos (p. ex. OEA, 2009; DAEE, 2005; Paula e Silva, 1988; Paula e Silva *et al.*, 2008). Todavia, o conhecimento atual de subsuperfície na área estudada não permite tratar essas duas unidades isoladamente, de modo que o sistema é aqui considerado como um meio hidráulico único.

A análise do mapa hidrogeológico da área piloto de São Gabriel do Oeste (Figura 1.73) permite observar claramente uma zona de “não fluxo” no bordo oeste, no limite de ocorrência presumido do SAG, em subsuperfície. A potenciometria da zona coberta pelos sedimentos cenozoicos e pelas rochas basálticas da Formação Serra Geral mostra fluxos regionais nos sentidos nordeste e sudeste, a partir de um divisor orientado aproximadamente NW-SE, que conduzem a água subterrânea para as áreas de afloramento do SAG, em direção ao interior da bacia.

A potenciometria da zona livre do aquífero mostra fluxos subterrâneos locais e fluxos regionais. Os fluxos locais são governados pelas microbacias associadas que descarregam a água subterrânea para a rede de drenagem superficial. Os fluxos regionais são governados pela bacia do Rio Coxim e apresentam duas direções principais: uma no sentido de sudoeste para nordeste, com zona de descarga associada aos afluentes da margem esquerda, e outra com sentido de sudeste para noroeste, com zona de descarga associada aos afluentes da margem direita do Rio Coxim.

Finalmente, a seção hidrogeológica esquemática da Figura 1.72 mostra o arranjo das unidades litoestratigráficas na área piloto de São Gabriel do Oeste e o comportamento da superfície potenciométrica nas áreas livres e nas áreas cobertas por sedimentos cenozoicos e rochas basálticas.





**Figura 1.72 – Seção hidrogeológica esquemática W-E com base na configuração estrutural da área piloto de São Gabriel do Oeste.**

### 1.8.3 Modelo Conceitual de Fluxo Subterrâneo da Área Piloto de São Gabriel do Oeste

O modelo conceitual de fluxo tem o objetivo descrever, de modo simplificado e qualitativamente, as condições de escoamento da água subterrânea no meio físico, considerando as zonas de recarga e descarga, conexões e características hidráulicas, geometria e limites do aquífero, e interações com as águas superficiais. Os modelos conceituais constituem base fundamental para o desenvolvimento de modelos numéricos de fluxo.

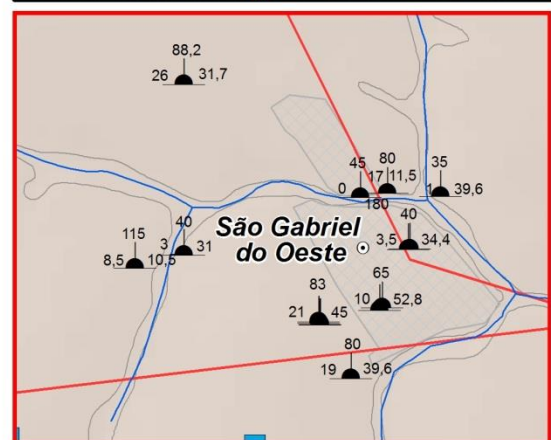
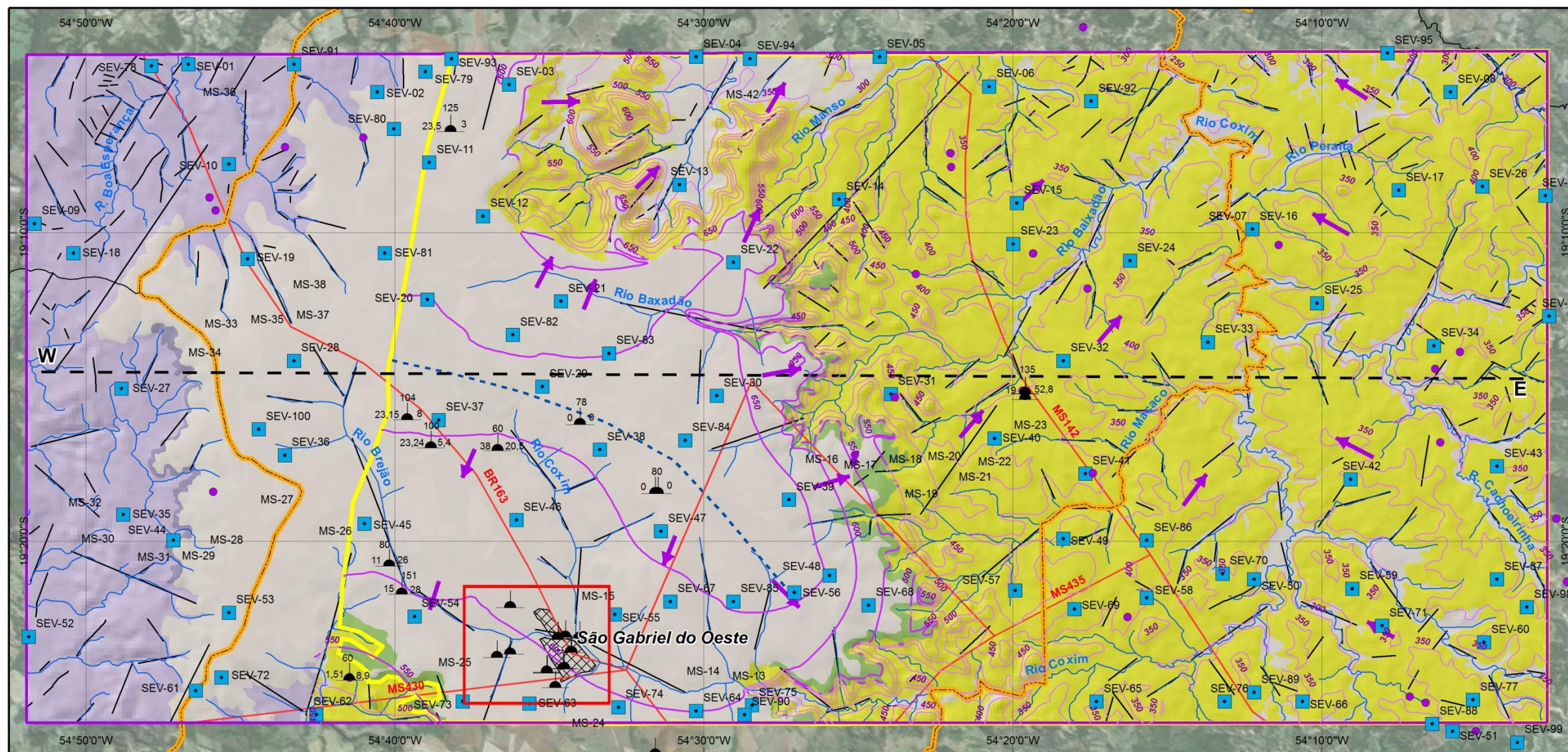
Como descrito no item anterior, a potentiometria do SAG no piloto de São Gabriel do Oeste define uma grande zona de recarga direta por chuvas e descarga para a rede fluvial, na porção da área onde os sedimentos das formações Botucatu e Pirambóia (formando o Sistema Aquífero Guarani) estão expostos à superfície. Nessa área, o escoamento subterrâneo é controlado pelas várias microbacias que compõem a bacia hidrográfica do Rio Coxim, nas quais as partes situadas acima do nível de base dos rios constituem zonas de recarga direta controladas pelas precipitações atmosféricas, e as partes situadas nas imediações e ao longo dos cursos de água superficiais constituem as zonas de descarga do SAG. Esta porção do piloto é tipicamente de natureza livre, na qual o limite superior de saturação está sob pressão atmosférica e os sedimentos permeáveis componentes do aquífero jazem sobre camada impermeável, neste caso representada pela Formação Estrada Nova ou rochas intrusivas de caráter básico.

Na zona aflorante do SAG, o fluxo subterrâneo regional que se dirige para a porção topograficamente mais deprimida da área, junto ao talvegue do Rio Coxim, é proveniente de dois setores distintos: o oeste, associado à rede de drenagem dos afluentes da margem esquerda e o leste, associado à rede de drenagem dos afluentes da margem direita do Rio Coxim.

Sob a cobertura cenozoica e basáltica do platô de São Gabriel do Oeste, o escoamento natural das águas subterrâneas configura um divisor com direção aproximada noroeste que passa pela porção central da chapada e divide o fluxo, de um lado para nordeste e de outro para sudeste

(Figura 1.73). Após deixarem a chapada, essas águas vão se juntar ao fluxo governado pelas microbacias afluentes da margem esquerda do Rio Coxim, que é o principal canal de escoamento e transposição das águas subterrâneas do SAG para o Rio Paraguai, através do Pantanal Mato-grossense (Figura 1.74). Na chapada, a geometria do aquífero (Figura 1.72) condiciona uma linha de “não fluxo” correspondente aos limites presumidos do SAG, em subsuperfície (Figura 1.73). Neste local, a Formação Estrada Nova deve constituir barreira de permeabilidade que impede a continuidade do fluxo à oeste.

Há que se mencionar ainda a existência de um fluxo regional no sentido leste, a partir da chapada de São Gabriel do Oeste, associado às águas mais profundas do SAG, que não interage com os cursos de água superficiais e se dirige à calha do Rio Paraná por sob a cobertura de rochas basálticas da Formação Serra Geral e arenosas do Grupo Bauru, que vai alimentar a zona de confinamento do aquífero.



Detalhe nas proximidades de São Gabriel do Oeste

**Convenções cartográficas**

- Rios
- Rodovias
- Sedes Municipais
- Sede - São Gabriel do Oeste
- Limites Municipais
- Município de São Gabriel do Oeste
- Área-piloto no MS
- Limite inferido do SAG

**Geofísica**

- SEVs executadas
- Poços Preexistentes Validados
- Poços Siagas
- Seção hidrogeológica
- Divisor subterrâneo
- Direção de fluxo subterrâneo
- Lineamentos
- Carga Hidráulica**
- Carga Hidráulica
- Potenciometria semiconfinado

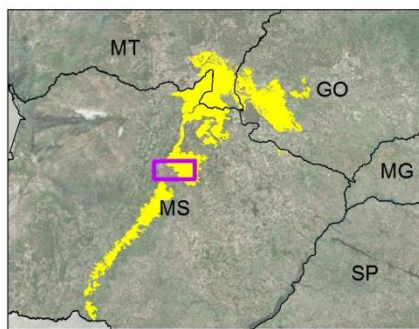
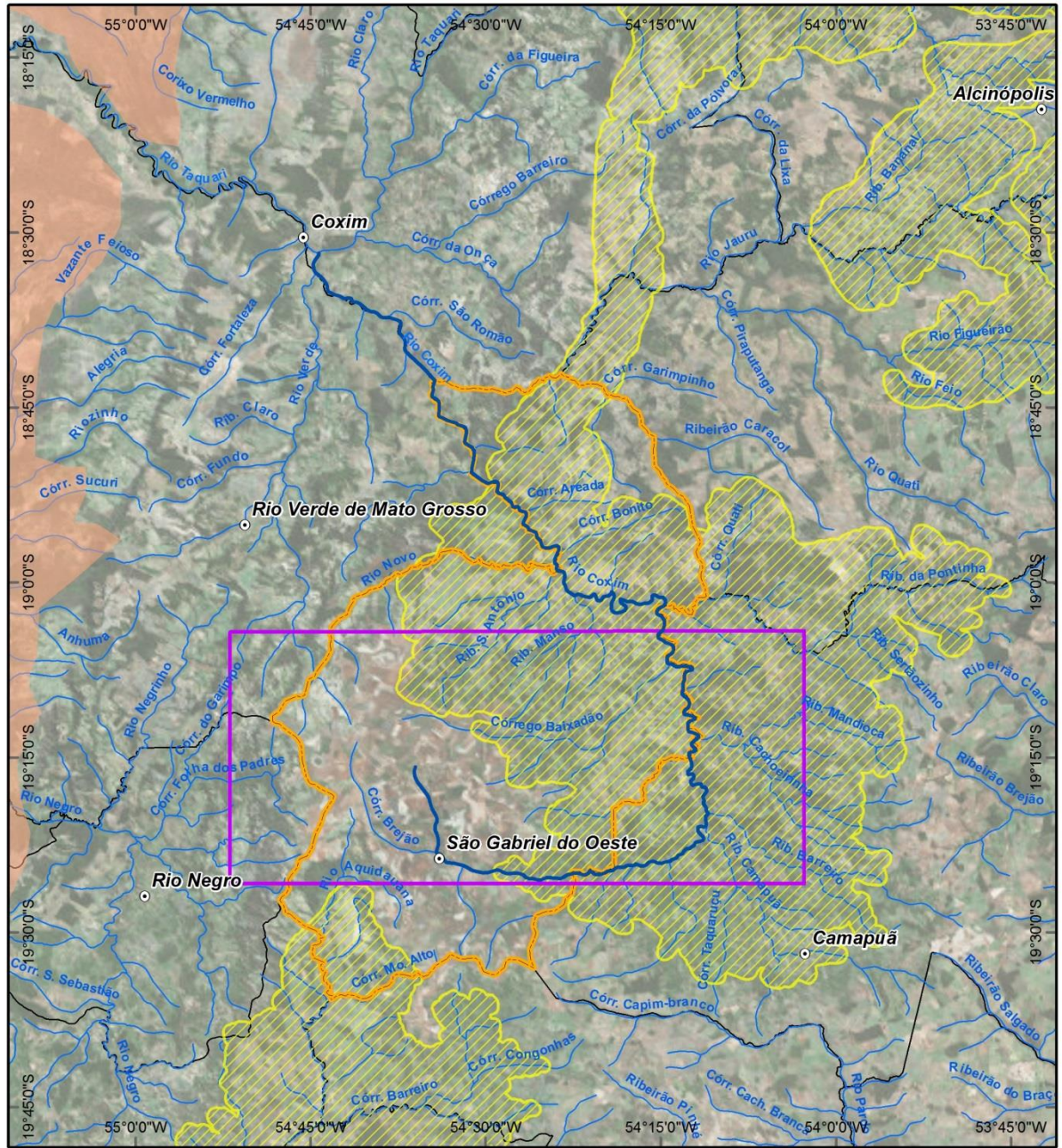
**Hidrogeologia**

- Sistema Aquífero Colúvio-Aluvionar
- Sistema Aquífero Serra Geral
- Sistema Aquífero Guarani
- Aquífero Passa Dois
- Sistema Aquífero Aquidauana



0 2,4 4,8 7,2 km  
Escala Numérica = 1:240.000

Figura 1.73 – Mapa hidrogeológico da área piloto de São Gabriel do Oeste.



Localização da área-piloto no estado de Mato Grosso do Sul

**Convenções cartográficas**

- Rios
- Rio Coxim
- Sedes Municipais inseridas no SAG
- Limites Municipais
- Município de São Gabriel do Oeste
- Área piloto no MS
- Afloramento do SAG (Buffer de 1km)
- Área Pantanal

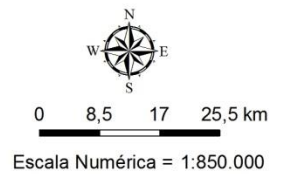


Figura 1.74 – Trajeto do Rio Coxim desde a nascente até desembocar no Pantanal. Na cidade de Coxim, junta-se ao Rio Taquari e com esta denominação adentra o Pantanal Mato-grossense.

Os estudos atuais corroboram as conclusões apresentadas pelo Projeto PSAG (OEAb, 2009), que demonstraram a existência de um divisor de águas do SAG sob o capeamento basáltico-arenítico do Grupo Bauru e da Formação Serra Geral, na porção oriental da área piloto de São Gabriel do Oeste. Em linhas gerais, o PSAG concluiu *que toda a borda oeste do SAG funciona como um sistema praticamente isolado, com áreas de recarga e descarga associadas às faixas de afloramentos que condicionam a existência de um divisor de águas subterrâneas. Nesse domínio está localizada outra importante zona de recarga do SAG, associada a terrenos elevados localizados entre os Estados de Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, que também apresenta a característica de fluxo radial. Nesse caso, o fluxo se dirige à zona de afloramentos (Bacia do Rio Taquari-Coxim) e à zona central da Bacia Sedimentar do Paraná. Associado a essa zona de descarga local do SAG, há um divisor de águas subterrâneas paralelo ao divisor de águas superficiais que existe entre as Bacias dos Rios Paraná e Paraguai.*

Para a porção localizada sob a cobertura cenozoica e basáltica, o aquífero assume um caráter semiconfinado ou confinado drenante clássico. Neste caso, o caráter semiconfinante é evidenciado pela existência de um substrato impermeável, representado pela Formação Corumbataí ou corpos intrusivos de diabásio, e de uma capa superior com baixa permeabilidade, não totalmente confinante, representada pelos arenitos argilosos, argilitos, lamitos da cobertura cenozoica (Figura 1.72). Os dados de níveis estáticos de poços perfurados na chapada, que captam água do SAG, mostram profundidades situadas acima do topo do aquífero. Por outro lado, níveis estáticos de poços rasos perfurados em sedimentos cenozoicos indicam cargas hidráulicas ligeiramente superiores às registradas no SAG, levando a concluir que ocorre fluxo descendente do aquífero superior através de camadas de baixa permeabilidade. A drenança realimenta o SAG e condiciona a potenciometria, que apresenta carga hidráulica maior na zona de semiconfinamento do que na zona livre do aquífero.

## **1.9 MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE NATURAL**

O termo vulnerabilidade à contaminação de um aquífero é usado para representar as características intrínsecas que determinam a susceptibilidade de um aquífero ser adversamente afetado por uma carga contaminante (Foster, 1987 *apud* Foster & Hirata, 1993). A CPRM (1997) define vulnerabilidade como o menor ou maior grau de disponibilidade que o aquífero apresenta de sofrer uma contaminação.

Segundo Foster & Hirata (1993), a vulnerabilidade do aquífero é função da inacessibilidade hidráulica da penetração de contaminantes e da capacidade de atenuação dos estratos acima da zona saturada do aquífero, como resultado de sua retenção física e reações químicas com o contaminante. Ainda de acordo com estes autores, seria mais coerente avaliar a vulnerabilidade do aquífero para cada contaminante específico ou para cada classe de contaminante, todavia, este procedimento é impraticável.

Dentre os vários métodos utilizados atualmente para avaliação da vulnerabilidade natural de um aquífero destacam-se o GOD (Foster, 1987), DRASTIC (Aller *et al.*, 1987), EPPNA (EPPNA, 1998), AVI (Stempvoort, 1992), SINTACS (Civita, 1994), IS (Francés *et al.*, 2001) etc. (Quadro 1.29). Uma consideração importante quando da aplicação destes métodos é a admissão da

existência de um contaminante com a mesma mobilidade relativa da água em meio poroso (Foster, 1987). O método GOD foi eleito nos TDRs do projeto para avaliar a vulnerabilidade do SAG em sua porção aflorante.

**QUADRO 1.29 – ÍNDICES DE VULNERABILIDADE NATURAL À POLUIÇÃO DE AQUÍFEROS E SEUS RESPECTIVOS FATORES DE PONDERAÇÃO**

<i>Índice</i>	<i>Método de avaliação</i>	<i>Fatores</i>	<i>Referência</i>
Surface Impoundment Assessment	Paramétrico. Sistema de disposição de águas servidas.	Zona não saturada; Importância do recurso; qualidade das águas subterrâneas; periculosidade do material.	(Le Grand, 1964)
Site Ranking Methodology	Paramétrico. Disposição de resíduos sólidos e novas indústrias	Uso da água e qualidade; nível e tipos de contaminação; profundidade do nível d'água; permeabilidade do solo; características dos resíduos (toxicidade e persistência).	(Kulfs et al., 1980)
DRASTIC	Paramétrico. Vulnerabilidade Geral	(D) Profundidade do nível d'água; (R) Recarga do aquífero; (A) Material do aquífero; (S) Tipo de solo; (T) Topografia; (I) Influência da zona não saturada; (C) Condutividade hidráulica.	(Aller et al., 1987)
GOD	Paramétrico. Vulnerabilidade Geral	(G) Ocorrência de água subterrânea; (O) Classificação geral do aquífero; (D) Profundidade do nível d'água.	(Foster, 1987)
AVI (Aquifer Vulnerability Index)	Paramétrico. Vulnerabilidade Geral	Espessura (di) de cada nível sedimentar acima da superfície freática. Condutividade hidráulica (Ki).	(Stempvoort, 1992)
SINTAC	Paramétrico. Vulnerabilidade Geral	Igual ao DRASTIC, mas com pesos diferentes.	(Civita, 1994)
EPPNA (Equipe de Projeto do Plano Nacional da Água)	Paramétrico. Vulnerabilidade Geral	De acordo com as características de cada formação litológica/hidrogeológica.	(EPPNA, 1998)
IS (índice de Susceptibilidade)	Paramétrico. Vulnerabilidade Geral	Igual ao DRASTIC, mas com pesos diferentes e considerando a ocupação do solo.	(Francés et al., 2001)

### **1.9.1 Método para Elaboração do Mapa de Vulnerabilidade do SAG Aflorante da Área Piloto de São Gabriel do Oeste**

Os mapas de vulnerabilidade são considerados uma base técnica simplificada para o planejamento de ações de controle dos aquíferos, principalmente em áreas potencialmente críticas. Neste projeto, foi previamente definido o método GOD para avaliar a vulnerabilidade do SAG em sua porção aflorante.

O método GOD se baseia em metodologia empírica proposta inicialmente por Foster & Hirata (1993), adotado no estudo, que leva em consideração parâmetros como modo de ocorrência de água subterrânea (*Groundwater occurrence*), classificação do aquífero (*Overall aquifer class*) e profundidade do topo do aquífero (*Depth to groundwater table*).

Estes três parâmetros são avaliados subjetivamente com base nos índices estabelecidos na Figura 1.75. Inicialmente, avalia-se a condição de ocorrência da água subterrânea numa escala de 0 a 1. Em seguida, avalia-se o tipo litológico do substrato acima da zona saturada do aquífero, com discriminação do grau de consolidação, características granulométricas e tipo de permeabilidade (por fissura ou poros), numa escala de 0,3 a 0,9. Logo após, avalia-se a profundidade de ocorrência do nível de água ou do topo do aquífero confinado numa escala de 0,3 a 1,0. O produto dos três parâmetros avaliados é o índice de vulnerabilidade, expresso em termos relativos numa escala de 0 a 1, que permite uma classificação em cinco classes compreendendo insignificante, baixa, média, alta e extrema (Figura 1.75).

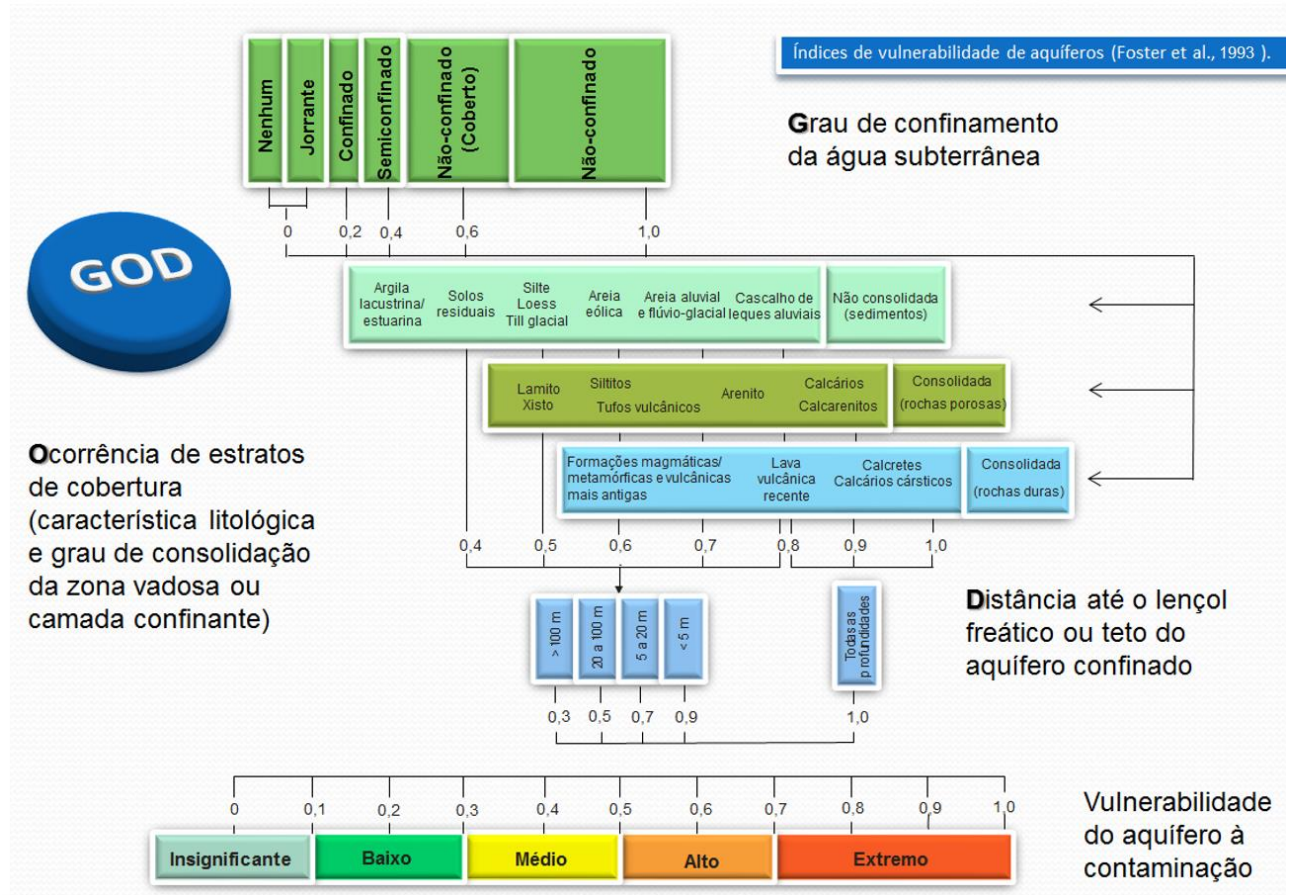


Figura 1.75 - Índices de vulnerabilidade de aquíferos (Foster et al., 1993).

A presença de camadas estratificadas com propriedades hidráulicas muito diferentes, como o caso de camadas menos permeáveis cobrindo aquíferos livres e dando origem a aquíferos suspensos ou cobertos não-confinados, ou ainda situações de semiconfinamento, podem dificultar a aplicação do método GOD, segundo Foster & Hirata (1993). Algumas recomendações a esse respeito podem ser consultadas no trabalho destes autores.

O primeiro parâmetro avaliado foi o modo de ocorrência da água subterrânea ou condição do aquífero, conforme indicado na Figura 1.75. Considerando que o estudo proposto deve avaliar a porção aflorante do SAG, este parâmetro foi generalizado e assumido com o índice de 0,9 para a condição de não-confinado, mesmo quando existia uma cobertura delgada de sedimentos terciários/quaternários arenosos, inconsolidados.

O segundo parâmetro avaliado foi o substrato litológico, representado pelas características das diferentes unidades litoestratigráficas componentes do SAG. Na área piloto de São Gabriel do Oeste foram distinguidas em campo as unidades Botucatu e Pirambóia, classificadas segundo os índices do substrato geológico estabelecidos no Quando 1.30 com os valores, respectivamente, de 0,8 e 0,7, tendo como referência estudo publicado pelo IG (1997).

O terceiro parâmetro de avaliação refere-se à profundidade de ocorrência do nível de água do aquífero livre, para o qual o método GOD estabelece quatro classes básicas (Figura 1.75). Para obter uma classificação da profundidade do nível de água estimado para a área aflorante do SAG, foram inicialmente utilizados os modelos digitais de terreno (MDT) e os mapas potenciométricos (carga hidráulica), elaborados anteriormente, conforme explanação no item 1.8.1.

#### QUADRO 1.30 – ÍNDICES DO SUBSTRATO GEOLÓGICO CONSIDERADOS NO ESTUDO

<i>Índices do substrato litológico para estimativa da vulnerabilidade pelo método GOD</i>		
<i>Unidades</i>	<i>Características litológicas</i>	<i>Índice</i>
Formações Cenozóicas	Depósitos sedimentares com idade cenozoica.	0,9
Botucatu	Depósitos de sistema eólico exibindo arenitos finos a médios, com estratificações cruzadas de grande porte.	0,80
Guará	Depósitos de sistema eólico úmido representados por arenitos finos com estratificação cruzada tangencial e plano-paralela.	0,70
Pirambóia	Depósitos de sistema eólico úmido associado a depósitos fluviais compostos de arenitos com estratificação cruzada a plano-paralela e intercalações de pelitos.	0,70
Caturrita	Depósitos fluviais associados a deltas lacustres, compostos por arenitos com intercalações de argilitos.	0,52
Santa Maria	Depósitos flúvio-lacustres com predomínio de sedimentos pelíticos.	0,30

Referência: IG. Instituto Geológico (1997)

Por meio do método de subtração de grids entre o *raster* do MDT e o *raster* do mapa potenciométrico, obteve-se um mapa preliminar de profundidade do nível de água (NA) do aquífero. Considerando que as profundidades do NA não podem ser menores do que zero, valores negativos foram transformados para zero. Em seguida, os rios e lagos existentes nas áreas aflorantes do SAG foram transformados também em *raster* com valores zero, uma vez que representam pontos de descarga das águas subterrâneas. Realizando uma operação de mosaico, juntou-se o *raster* de profundidade do NA com o *raster* dos rios e lagos. Em seguida, o *raster* resultante foi transformado em pontos cotados e feito nova gridagem com o aplicativo *topo to raster* do programa ArcGis para obtenção de mapa mais ajustado, representativo do mapa de profundidade do NA. Na continuação, o mapa de profundidade do NA foi reclassificado para as quatro classes estabelecidas pelo método GOD (Figura 1.75).

A análise pelo método GOD determina que o índice de vulnerabilidade final seja dado pelo produto simples da avaliação dos três parâmetros envolvidos, ou seja, condição do aquífero, substrato do aquífero e profundidade do nível de água. Os resultados são agrupados em cinco classes principais de vulnerabilidade, variando entre insignificante, baixa, média, alta e extrema (Figura 1.75). As operações executadas para estimativa da vulnerabilidade do SAG em sua porção aflorante foram realizadas por intermédio do programa ArcGis e os resultados foram expressos em formato *raster*.



O método GOD, assim como outros métodos que visam estabelecer classes de vulnerabilidade com vistas à proteção e preservação de recursos hídricos subterrâneos, incorpora índices e pesos bastante subjetivos, os quais influenciam substancialmente os resultados.

Normalmente, os índices litológicos do método GOD sugeridos nas publicações especializadas baseiam-se nas características gerais apresentadas pelas unidades litoestratigráficas formais. Os índices litológicos do método GOD são fundamentados exclusivamente numa classificação genética genérica, ao invés de uma classificação estabelecida com base na condutividade hidráulica do meio, que é a propriedade física essencial que controla o fluxo subterrâneo. O grau de cimentação, o grau compactação e alterações pós-deposicionais modificam as características hidrodinâmicas, de sorte que sedimentos geneticamente equivalentes podem apresentar diferentes condutividades hidráulicas. Por outro lado, sedimentos geneticamente diferentes também podem apresentar condutividades semelhantes. Este fato demonstra o peso da avaliação subjetiva na determinação dos índices de vulnerabilidade associados às características litológicas, os quais podem ser manejados para consecução de objetivos específicos.

Outro aspecto que merece ser discutido refere-se às variações litológicas existentes em subsuperfície, as quais somente podem ser identificadas com base em conhecimento geológico adequado. Uma avaliação mais geral pode constatar sedimentos de elevada condutividade expostos à superfície, ao passo que a poucos metros de profundidade podem ocorrer sedimentos de baixa condutividade hidráulica ou mesmo impermeáveis. Neste caso, uma avaliação com base somente nos sedimentos aflorantes não representa a realidade.

O método GOD também estabelece, de antemão, que quanto maior a distância da superfície do terreno até o lençol subterrâneo, maior a proteção do aquífero, fato que sob a ótica do tempo de trânsito de percolação descendente de um contaminante, em meio não saturado, está correto. Assim, são estabelecidas áreas de maior ou de menor vulnerabilidade, influenciadas respectivamente pelos níveis de água profundos ou rasos. Nas áreas de níveis mais profundos de águas subterrâneas admite-se menor vulnerabilidade dos aquíferos, o que pode incentivar a ocupação por empreendimentos potencialmente mais poluentes e o relaxamento na fiscalização dos impactos ambientais por parte dos órgãos gestores. A lenta percolação de contaminantes nestas áreas pode ocasionar, em longo prazo, uma contaminação generalizada do aquífero e de difícil remediação, ao contrário daquelas áreas onde o nível de água subterrânea encontra-se próximo da superfície e da zona de descarga.

Os mapas de vulnerabilidade, segundo os conceitos utilizados em Foster *et al.* (1993), tem o objetivo de distinguir áreas naturais segundo o critério do tempo de residência de um contaminante na zona não saturada, que por sua vez determinará a demora com que o contaminante atingirá o aquífero, nada mais além disto. Ou seja, uma contaminação persistente vai alcançar o aquífero num determinado momento, independentemente se a área está classificada como de baixa ou alta vulnerabilidade. Portanto, a instalação de empreendimentos com potencial poluidor, em qualquer região, deve atender normas e procedimentos definidos pelos órgãos ambientais gestores.

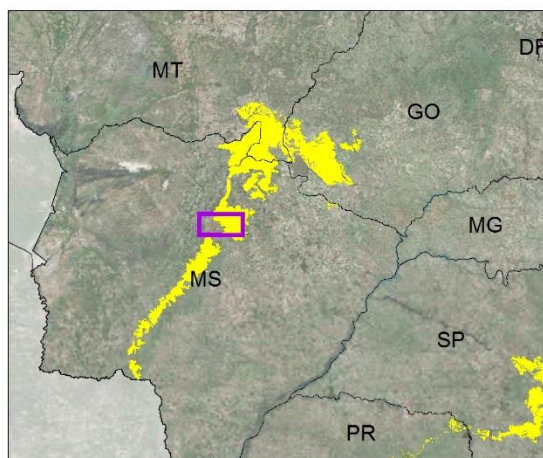
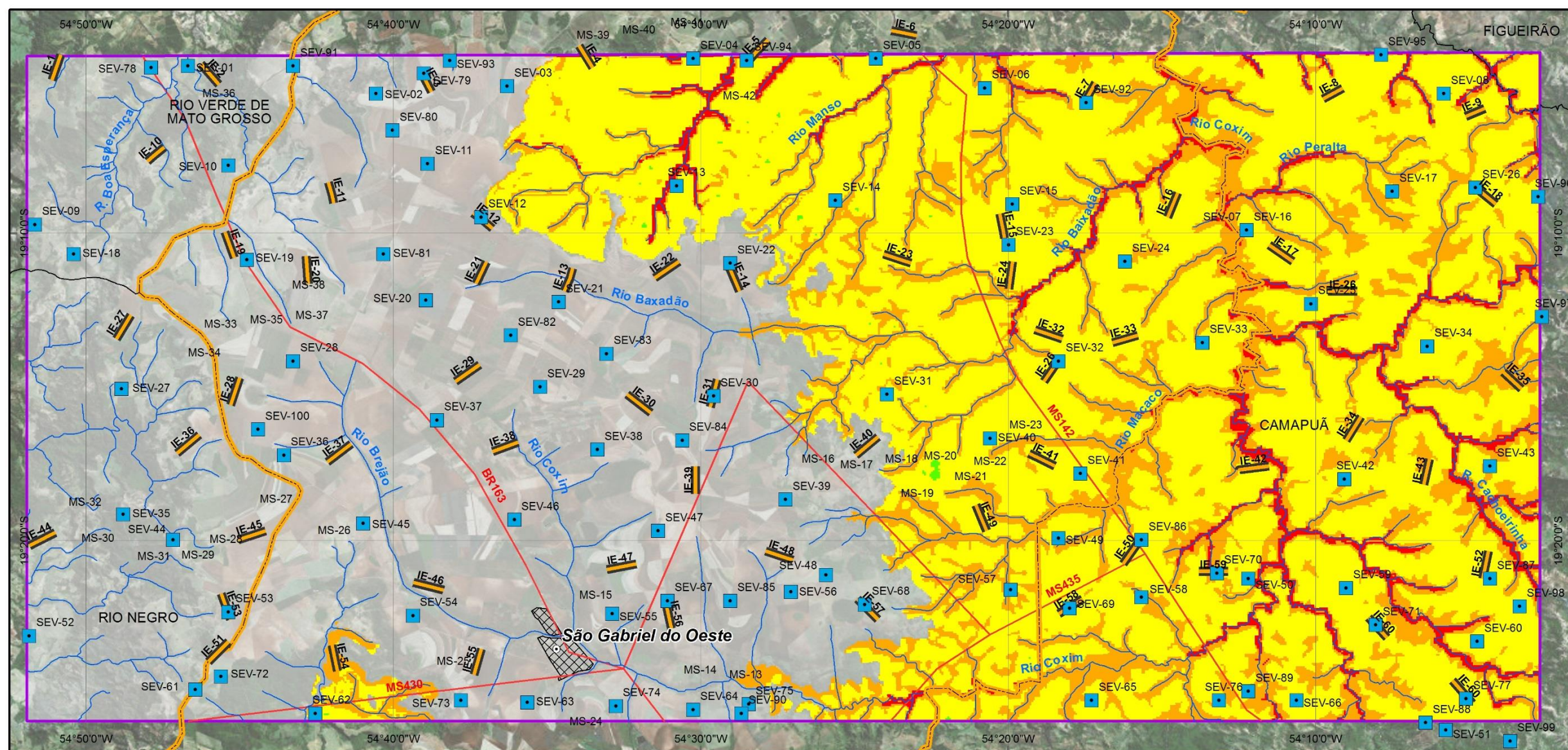
### 1.9.2 Mapa de Vulnerabilidade do SAG Aflorante da Área Piloto de São Gabriel do Oeste

A Figura 1.76 apresenta o mapa de vulnerabilidade e o Quadro 1.31 mostra o resultado da distribuição das classes de vulnerabilidade natural do SAG na área piloto de São Gabriel do Oeste.

**QUADRO 1.31 – DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE VULNERABILIDADE NATURAL DO SAG NA ÁREA PILOTO DE SÃO GABRIEL DO OESTE**

<i>Vulnerabilidade GOD</i>			
<i>Estado</i>	<i>Classes</i>	<i>Área (km<sup>2</sup>)</i>	<i>% do total</i>
Área piloto São Gabriel do Oeste	Insignificante	0	0,0%
	Baixa	1	0,06%
	Média	1.255	69,38%
	Alta	462	25,54%
	Extrema	91	5,03%

De acordo com o Quadro 1.31, a classe de vulnerabilidade média predomina amplamente (69,38%), seguida da classe de vulnerabilidade alta (25,54%), obedecendo a mesma tendência geral observada na maioria dos estados onde afloram os sedimentos do SAG. Por outro lado, a classe extrema mostrou reduzida expressão em área (5,03%) e a classe baixa numa área muito pequena (0,06%).



Localização da área-piloto no estado de Mato Grosso do Sul

- Convenções cartográficas**
- Rios
  - Rodovias
  - Sedes Municipais
  - Sede - São Gabriel do Oeste
  - Limites Municipais
  - Município de São Gabriel do Oeste
  - Área piloto no MS
  - Outras unidades geológicas

- Geofísica**
- SEVs
  - Imageamento elétrico
- Índice de Vulnerabilidade Natural (Método GOD)**
- |                |       |       |      |         |
|----------------|-------|-------|------|---------|
| Insignificante | Baixa | Média | Alta | Extrema |
| 0              | 0,1   | 0,2   | 0,3  | 0,4     |
| 0,5            | 0,6   | 0,7   | 0,8  | 0,9     |
| 1,0            |       |       |      |         |

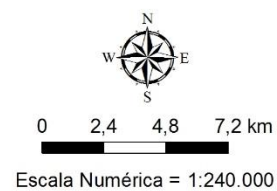


Figura 1.76 – Mapa de vulnerabilidade do SAG na área piloto de São Gabriel do Oeste.

---

## 1.10 MAPEAMENTO DO PERIGO DE CONTAMINAÇÃO

---

O conceito de contaminação de aquíferos utilizado neste trabalho é o mesmo proposto por Foster *et al.* (2006), que considera degradação da água subterrânea quando parâmetros hidroquímicos de referência estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS) para a qualidade da água potável excedem os limites permitidos.

A contaminação das águas subterrâneas é mais preocupante no caso de aquíferos livres, com nível de água pouco profundo, dada a maior susceptibilidade à poluição ambiental, não desmerecendo aquíferos semiconfinados e confinados que, embora mais protegidos, também podem ser contaminados em longo prazo. A persistência de processos poluentes pode, ainda que lentamente, conduzir contaminantes desde a superfície do terreno até alcançar o nível de água subterrânea. E uma vez que as velocidades percolação e de fluxo das águas subterrâneas são muito lentas, a reabilitação de aquíferos é um processo demasiadamente moroso e dispendioso. Neste sentido vale o lema: melhor prevenir do que remediar.

Foster & Hirata (1993) destacam que, entre os constituintes inorgânicos, o nitrato é o elemento mais problemático nas águas subterrâneas devido à sua mobilidade em subsuperfície e ampla distribuição. Outros constituintes, como o cloreto, sulfato, sódio, ferro e manganês são bastante frequentes nas águas subterrâneas e, muitas vezes, podem estar associados a causas naturais. Metais pesados, incluindo cádmio, cromo, estanho e mercúrio são imobilizados por precipitação e outros processos químicos na maioria dos aquíferos, mas frente a Eh e pH muito baixos estes elementos podem mobilizar-se.

Estes autores citam que entre os constituintes inorgânicos encontram-se substâncias halogenadas dos grupos alifático (não contêm nenhum anel benzênico) e aromático (contêm pelo menos um anel benzênico), moderadamente solúveis em água, relativamente móveis e persistentes em subsuperfície, que graças ao uso expressivo na indústria como solvente, desinfetante etc. e às baixas concentrações permitidas na legislação de potabilidade, merecem atenção.

Quanto aos pesticidas, Foster & Hirata (1993) observam que a maioria dos citados pela OMS (Organização Mundial da Saúde) são fortemente sorvidos pelo solo e pouco prováveis de causar contaminação das águas subterrâneas. Para Foster *et al.* (2006), devido à dificuldade de fazer estimativas precisas das perdas por lixiviação, a classificação do solo agrícola em termos de seu potencial de gerar carga contaminante no subsolo deve começar com o mapeamento da distribuição dos cultivos mais importantes, juntamente com o inventário de suas aplicações de fertilizante e agrotóxicos. Com esses dados, geralmente é possível classificar a área de solo cultivado com base na probabilidade de que a atividade agrícola venha potencialmente a gerar no subsolo uma carga contaminante reduzida, moderada ou elevada.

Em sua conceituação, a expressão “perigo de contaminação de aquífero” designa a probabilidade de que a água subterrânea venha a apresentar concentrações de contaminantes superiores aos valores estabelecidos pela OMS para a qualidade da água potável (Foster *et al.*, 2006).

O perigo de contaminação é determinado pela interação entre a vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação e a carga contaminante que é, será ou pode ser aplicada no meio como resultado da atividade humana (Foster *et al.*, 2006). Segundo os autores, pode-se ter alta vulnerabilidade, mas nenhum perigo de poluição por causa da ausência de carga contaminante significativa, e vice-versa. Além disso, a carga contaminante pode ser controlada ou modificada, mas a vulnerabilidade do aquífero é essencialmente determinada pelo contexto hidrogeológico natural. Reforçam os autores que o perigo resultará ou não em uma ameaça à qualidade da água subterrânea num determinado manancial para abastecimento público, dependendo primeiramente de sua zona de captura e, em segundo lugar, da mobilidade, persistência e dispersão dos contaminantes dentro do regime de fluxo do aquífero.

### **1.10.1 Método para Elaboração do Mapa de Classificação de Fontes Pontuais de Contaminação do SAG na Área Piloto de São Gabriel do Oeste**

Fontes pontuais de contaminação estão associadas a empreendimentos industriais e comerciais, geralmente instalados nas áreas urbanas dos municípios, e ao esgotamento sanitário *in situ* (fossas sépticas). As plumas de contaminação derivadas de fontes pontuais são mais concentradas e claramente definidas, o que facilita sua identificação e, em alguns casos, seu controle. Quando as fontes pontuais são múltiplas, acabam representando, no final, uma fonte basicamente difusa no que diz respeito à identificação e ao controle (Foster *et al.*, 2006).

A caracterização da carga poluente no subsolo é difícil de ser estimada, segundo SMA (1997), em razão de:

- ✓ Tipo ou classe de poluente definida quanto a tendência à degradação pela atividade biológica ou química, e ao retardamento devido ao processo de troca iônica, sorção e outros;
- ✓ Intensidade do evento poluidor em termos de concentração;
- ✓ Modo de disposição no solo ou subsolo do poluente em relação à carga hidráulica associada e profundidade de descarga do efluente, de lixiviação de resíduos sólidos ou produtos aplicados no solo;
- ✓ Duração do evento poluidor.

Normalmente estas características são pouco conhecidas e a alternativa para estimar a carga poluente é feita com base nas atividades potencialmente geradoras, conforme mostrado, por exemplo, no Quadro 1.32, para diferentes tipologias definidas pela CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo).

**QUADRO 1.32 - FONTES PONTUAIS COM POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DO SOLO E DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (MANUAL DE GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS – CETESB)**

<i>Tipologia</i>	<i>Atividades</i>	<i>Principais contaminantes</i>
Petróleo, Gás Natural, Carvão Mineral.	Extração de petróleo cru, gás natural, xisto, carvão, areias betuminosas, linhito, turfa, antracito, hulha.	Hidrocarbonetos, fenóis, ácidos e bases
Refino de Petróleo, Coque, Combustíveis Nucleares e Álcool.	Fabricação de: produtos do refino do petróleo (butano, GLP, metano, propano, gasolina, nafta, gás natural, querosene comum e de aviação); óleos (diesel, combustível, gasóleo); produtos aromáticos; ceras minerais; parafina; hexano vaselina; aguarrás; lubrificantes; asfalto; coque e alcatrão de petróleo; alcatrão e gás de hulha; álcool anidro e hidratado; combustíveis nucleares (urânio e tório).	Hidrocarbonetos, fenóis, ácidos e bases, potássio, nitrato, sulfato, vanádio, antimônio, bário, berílio, tálio, mercúrio, selênio, resíduos radioativos, hidrocarbonetos policíclicos-PAH
Produtos Minerais Não Metálicos	Fabricação de canos, manilhas, ladrilhos, azulejos, tubos, conexões, mosaicos, pastilhas, artefatos de cré, material sanitário, porcelana, faianças misturas betuminosas	Chumbo, cobre, cromo, níquel, cádmio, antimônio, bário, alumínio, tálio, silicatos.
Material Refratário	Fabricação de materiais aluminosos, silicosos, sílico-aluminosos, grafitosos, pós-exotérmicos e refratários	Chumbo, cobre, cromo, níquel, silicatos, alumínio.
Metalurgia Básica	Produção de ferro e aço; fundidos, laminados, forjados, soldas e ânodos; metalurgia de metais preciosos; galvanica (tempera, cementação, cromação, zincagem, niquelação, anodização estanhagem e douração)	Ferro, cádmio, chumbo, cobre, cromo, bário níquel, antimônio, cianetos, asbestos, bifenilas policloradas-PCB, solventes, hidrocarbonetos, tintas, óleos e graxas
Máquinas e Equipamentos	Fabricação de máquinas, equipamentos e acessórios em geral	Ferro, alumínio, chumbo, cobre, cromo, cádmio, níquel, vanádio, antimônio, tungstênio, cianetos, hidrocarbonetos, óleos e graxas, solventes.
Material Elétrico e Eletrônico	Fabricação de: materiais equipamentos e acessórios para produção, transmissão e distribuição de energia elétrica de alta e baixa tensão; pilhas, baterias e lâmpadas	Ácidos, bases, fenóis, hidrocarbonetos, chumbo, cobre, cromo, níquel, cádmio, mercúrio, antimônio, bário, óleos e graxas
Equipamentos de Transporte	Fabricação e montagem de veículos (rodoviários e ferroviários), reboques, carrocerias, máquinas, motores e turbinas; construção e reparação de embarcações e aeronaves, incluindo peças e acessórios	Ferro, cádmio, chumbo, cobre, cromo, berílio, níquel, cianetos, hidrocarbonetos, tintas e solventes
Produtos de Madeira	Peças e artefatos de madeira com tratamento a base de produtos químicos, preservação e imunização da madeira	Hidrocarbonetos, chumbo, cobre, cromo compostos organoclorados,
Celulose e Papel	Fabricação de: celulose, pasta mecânica, polpa de madeira, papel, papelão e cartolina	Óleos e graxas, ácidos, bases; bário, alumínio, chumbo, cádmio, cromo, sulfetos, cloretos
Borracha	Beneficiamento de borracha natural e produção de borracha sintética	Selênio, hidrocarbonetos, cianetos
Couros e Peles	Preparação de Couros e Fabricação de Artefatos de Couro, Artigos de Viagem e Calçados; secagem, salga, curtimento e outras preparações de couros e peles, inclusive subprodutos	Cromo, níquel, cádmio, bário, cianeto, fluoretos, ácidos, óleos e graxas, sódio, corantes
Química	Fabricação de produtos químicos, petroquímicos e agroquímicos	Ácidos, bases, metais, solventes, fenóis, cianetos
Farmacêutica e Veterinária	Fabricação de medicamentos	Ácidos, bases, metais, solventes, fenóis, cianetos
Perfumaria	Fabricação de produtos de perfumaria e cosméticos	Óleos e graxas, glicerina, chumbo zinco
Sabões e Detergentes	Fabricação de sabões, detergentes e domossanitários	Fluoretos, surfactantes
Utilidade Pública e Tratamento de Efluentes e Resíduos	Aterros Sanitários, aterros industriais, estações de tratamento de esgotos, cemitérios, incineradores; estação de tratamento de águas residuárias industriais; recuperação de tambores e bombonas; unidades de reciclagem de resíduos; produção e distribuição de Eletricidade e Gás	Ácidos, bases, metais, solventes, fenóis, cianetos
Serviços	Lavanderias a seco, oficinas mecânicas, garagens de veículos de transporte coletivo, transportadoras, postos de abastecimento de combustível	Amônia, solventes, hidrocarbonetos, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos - PAH,
Têxtil	Beneficiamento e acabamento de fios e tecidos	Chumbo, cobre, cromo, cianetos, hidrocarbonetos, corantes
Gráfica	Serviços de impressão em geral, excetuando serviços de computação gráfica e utilização de meios digitais	Chumbo, cádmio, cromo, solventes
Alimentícia	Abatedouros, matadouros, frigoríficos	Sódio
Combustíveis e Produtos Químicos	Bases de distribuição de produtos químicos e combustíveis	Hidrocarbonetos, fenol, óleos e graxas, etanol e metanol, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos - PAH

Mesmo com as dificuldades de se caracterizar a carga poluidora, pode-se estabelecer uma graduação em termos de periculosidade a partir das informações sobre os tipos de poluentes envolvidos nas diversas atividades (SMA, 1997).

Dentre todos os cadastros de fontes potenciais pontuais de contaminação levantados neste estudo, o Cadastro Técnico Federal (CTF) de atividades potencialmente poluidoras ou utilizadoras de recursos ambientais do IBAMA mostrou-se o mais indicado para elaboração do mapa de classificação de fontes de contaminação pontuais da área piloto de São Gabriel do Oeste.

O CTF é o mais completo e abrangente em razão de possuir representatividade adequada em todos os estados, atividades enquadradas em grupos predeterminados e critérios já estabelecidos de estimativa do grau de risco, conforme discutido no item 1.4.1.

De acordo com o cadastro do IBAMA, os empreendimentos levantados nos municípios inseridos na área piloto de São Gabriel do Oeste estão agrupados em 10 categorias e 19 subcategorias de atividades potencialmente poluentes, e classificados com índices que variam entre pequeno, médio e alto. O Quadro 1.33 mostra os resultados à área piloto, cujas atividades potencialmente poluentes foram classificadas com grau médio e alto.

Aplicando-se o método POSH (*Pollutant Origin, Surcharge Hydraulically*), adotado neste estudo para classificação das fontes potenciais pontuais de contaminação em função do impacto da atividade econômica exercida, às mesmas atividades identificadas no CTF do IBAMA e distinguindo-as com os índices similares que variam entre reduzido, moderado e elevado, tem-se o resultado apresentado no Quadro 1.33.

**QUADRO 1.33 – CLASSIFICAÇÃO COMPARATIVA DE ATIVIDADES POTENCIALMENTE POLUIDORAS OU UTILIZADORAS DE RECURSOS NATURAIS**

Código	Categoria	IBAMA	POSH
		Grau	Grau
1	Extração e Tratamento de Minerais	Alto	Elevado
2	Indústria de Produtos Minerais Não Metálicos	Médio	Moderado
3	Indústria Metalúrgica	Alto	Elevado
7	Indústria de Madeira	Médio	Reduzido
11	Indústria Têxtil, de Vestuário, Calçados e Artefatos de Tecidos	Médio	Moderado
15	Indústria Química	Alto	Elevado
16	Indústria de Produtos Alimentares e Bebidas	Médio	Reduzido
17	Serviços de Utilidade	Médio	Moderado
18	Transporte, Terminais, Depósitos e Comércio	Alto	Moderado
98	Veículos Automotores - Pneus - Pilhas e Baterias	Médio	Elevado

As atividades industriais, de comércio e de serviços com potencial para geração de carga contaminante pontual estão preferencialmente concentradas nas áreas urbanizadas dos municípios, principalmente em distritos compreendidos pelas sedes municipais. Estas fontes estão associadas somente aos municípios de origem no cadastro do IBAMA, não possuindo coordenadas de localização. Como sua distribuição é desconhecida, o critério utilizado para representação em mapa foi a vinculação das classes de risco de contaminação resultantes aos elementos geográficos correspondentes às áreas dos municípios seccionadas pelos afloramentos do SAG.

A análise de risco das fontes potenciais pontuais obedeceu aos mesmos critérios utilizados em SMA (2010), para o Estado de São Paulo, ou seja, as atividades classificadas como de elevado potencial foram ponderadas pelo peso 1, as atividades moderadas pelo peso 0,5, e as atividades classificadas como de risco reduzido foram desprezadas. Os resultados dessa ponderação foram somados e os valores foram atribuídos aos municípios correspondentes. A classificação quanto ao potencial de contaminação das fontes pontuais estabeleceu três classes variando entre reduzido, moderado e elevado, de acordo com o Quadro 1.34.

**QUADRO 1.34 – CLASSIFICAÇÃO DO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS POR FONTES PONTUAIS (SMA, 2010)**

<i>Classificação do potencial de contaminação de fontes pontuais</i>		
<i>Reduzido</i>	<i>Moderado</i>	<i>Elevado</i>
Valor de 0 a 20	Valor de 20 a 100	Valor maior que 100

Deve-se ressaltar que a distribuição em área das classes mostradas nos mapas de classificação do potencial de contaminação do SAG por fontes pontuais de contaminação é apenas uma representação, com base nos limites municipais, do potencial de contaminação associado exclusivamente às áreas urbanizadas e distritos industriais dos municípios que poderão ou não estar localizadas sobre as áreas de afloramento do SAG identificadas no mapeamento geológico apresentado no item 1.1 deste tomo. Em nenhuma hipótese o leitor deverá extrapolar esta avaliação para o município como um todo.

### **1.10.2 Mapa de Classificação de Fontes Pontuais de Contaminação do SAG da Área Piloto de São Gabriel do Oeste**

Dos cinco municípios inseridos total ou parcialmente na área piloto de São Gabriel do Oeste (MS), somente Figueirão, Camapuã e o próprio São Gabriel do Oeste estão cortados por áreas de afloramento do SAG. Os municípios de Rio Verde do Mato Grosso e Rio Negro assentam-se sobre sedimentos paleozoicos da Bacia do Paraná, segundo os levantamentos geológicos realizados no decorrer do projeto.

Para a confecção do mapa de classificação do potencial de contaminação do SAG aflorante na área piloto de São Gabriel do Oeste foram utilizados dados do CTF/IBAMA, conforme discutido no item 1.4.1.

De acordo com o Cadastro Técnico Federal, foram identificados 211 empreendimentos potencialmente contaminantes de recursos ambientais distribuídos nos três municípios da área piloto que intersectam o afloramento, abrangendo as classes, elevado (175), moderado (16) e reduzido (20), conforme apresentado no Quadro 1.35.

**QUADRO 1.35 – RISCOS POTENCIAIS NA ÁREA PILOTO DE SÃO GABRIEL DO OESTE (MS) EM RELAÇÃO A FONTES PONTUAIS CONTAMINANTES (CTF)**

<i>Município</i>	<i>Elevado</i>	<i>Moderado</i>	<i>Reduzido</i>	<i>Total</i>
CAMAPUÃ	143	7	5	155
FIGUEIRÃO	14	0	1	15
SÃO GABRIEL DO OESTE	18	9	14	41
<b>Total</b>	<b>175</b>	<b>16</b>	<b>20</b>	<b>211</b>

A distribuição de riscos potenciais com base no método POSH, descrito anteriormente, mostra que Camapuã é o município que reúne o maior número de empreendimentos potencialmente contaminantes na área piloto. Inclusive tendo mais fontes com alto grau de risco que a soma dos demais municípios, em decorrência basicamente de sua base de indústrias químicas (95) e de extração e tratamento de minérios (48).



Para o caso específico do município de São Gabriel do Oeste, que tem sua sede municipal inserida na área de abrangência da área piloto, são 26 fontes potenciais de alto grau de risco, principalmente indústria química (18) e transporte, terminais, depósitos e comércios (7), e 12 fontes potenciais de médio grau de risco, principalmente indústria de madeira (7), seguida das indústrias de produtos alimentares (4) e indústria têxtil (1).

Já o município de Figueirão possui 15 fontes potenciais pontuais de contaminação, sendo 14 de elevado potencial, referentes às indústrias químicas, e uma de reduzido potencial, referente à indústria madeireira.

Aplicando método de classificação de risco potencial de contaminação (Quadro 1.34), proposto em SMA (2010), foram estabelecidas três classes variando entre reduzido, moderado e elevado, conforme discutido anteriormente. O município de Figueirão foi classificado como de reduzido potencial de contaminação por fontes pontuais, o de São Gabriel do Oeste como de moderado potencial e o de Camapuã como de elevado potencial, com base no critério utilizado (Figura 1.77).

### ***1.10.3 Método para Elaboração do Mapa de Perigo de Contaminação do SAG por Fontes Difusas na Área Piloto de São Gabriel do Oeste***

No contexto das águas subterrâneas, as diferentes formas de uso e ocupação da terra determinarão quais os principais tipos de contaminantes que apresentam potencial de alcançar os aquíferos. Destacam-se as atividades agrícolas como responsáveis pelos casos mais graves de contaminação difusa de água subterrânea, através da utilização de fertilizantes e agrotóxicos, e usos inadequados da terra. As fontes de contaminação difusas não geram plumas de contaminação claramente definidas, mas normalmente afetam uma área muito maior do aquífero.

O mapeamento de uso e ocupação da terra na área piloto de São Gabriel do Oeste foi elaborado na escala 1:50.000 com base na classificação de imagens de satélite, imagens do sensor Landsat 8, com datas a partir do primeiro semestre de 2013, conforme descrito no item 1.3.1. As classes de uso da terra identificadas e as áreas de cobertura são apresentadas no Quadro 1.36.

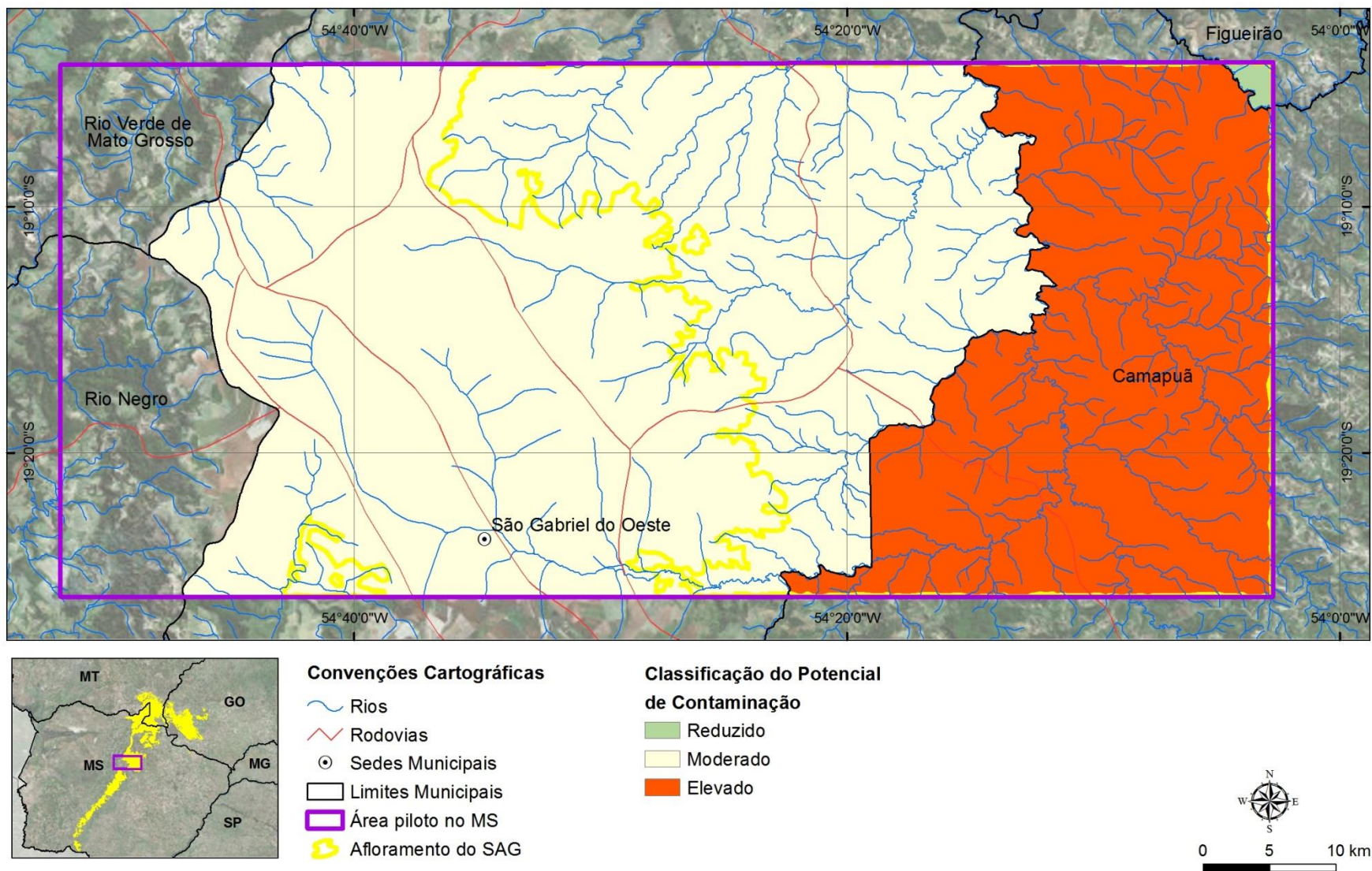


Figura 1.77 – Mapa de classificação do potencial de contaminação das águas subterrâneas do SAG na área piloto de São Gabriel do Oeste (MS), por fontes pontuais.

**QUADRO 1.36 – CLASSES DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA**

<i>Classe</i>	<i>Área Piloto (km²)</i>	<i>%</i>	<i>Afloramento (km²)</i>	<i>%</i>
Urbano	11,3	0,33	0,53	0,03
Assentamento	32,8	0,95	-	-
Silvicultura	1,2	0,04	-	-
Cultura Anual - Soja/milho e sorgo	965,3	28	15	0,82
Cultura Anual Irrigada por Pivô Central <sup>4</sup>	4	0,1	-	-
Campo/Pastagem	1.232,4	36	1.019	55,74
Mata Ciliar ou de Galeria	247,6	7	176,1	9,63
Campos Úmidos ou de Várzea	21,8	0,63	10	0,55
Cerrado	918,7	26,6	595,7	32,6
Rios	11,3	0,33	11,2	0,61
Lagos	1,0	0,03	0,34	0,02
<b>Total</b>	<b>3.447,4</b>	<b>100</b>	<b>1.827,87</b>	<b>100</b>

A classificação de fontes difusas decorrentes das atividades agrícolas baseou-se na classificação dos Domínios Pedomorfoagroclicmáticos proposta por Gomes (2008). As classes de uso da terra não classificadas na proposta de Gomes (2008) e identificadas neste trabalho foram designadas “sem classificação” (Quadro 1.37).

**QUADRO 1.37 – CLASSIFICAÇÃO DO POTENCIAL CONTAMINANTE EM FUNÇÃO DO USO DO SOLO**

<i>Classe de uso</i>	<i>Potencial de contaminação</i>
Mineração	Sem classificação *
Solo Exposto	Sem classificação *
Rios	Sem classificação *
Lagos	Sem classificação *
Urbano	Reduzido
Culturas Perenes	Moderado
Culturas Anuais - Arroz	Elevado
Culturas Anuais - Soja	Elevado
Reflorestamento	Moderado
Mata	Sem classificação *
Mata Ciliar ou de Galeria	Sem classificação *
Cerrado	Sem classificação *
Culturas Semiperenes (cana de açúcar)	Elevado
Culturas Anuais	Elevado
Pastagens	Moderado
Campos úmidos ou de várzeas	Sem classificação *

\* Sem classificação se refere a classes não enquadradas de acordo com a metodologia proposta por Gomes (2008).

A classificação do perigo de contaminação tomou como base aquela elaborada por SMA (2010) para as áreas de afloramento do SAG no Estado de São Paulo, conforme mostrado no Quadro 1.38. Esta classificação apresenta complementações de modo a ajustar os índices de vulnerabilidade estimados para o SAG em todo o território brasileiro, com as classes de potencial de contaminação definidas por SMA (2010).

<sup>4</sup> As áreas irrigadas computadas no mapeamento correspondem apenas as áreas que utilizam o sistema de pivô central, facilmente identificáveis na imagem de satélite. Os demais sistemas de irrigação, assim como aspersão, gotejamento etc, não são possíveis identificar na imagem de satélite dada a escala de trabalho, 1:50.000.

**QUADRO 1.38 – CLASSIFICAÇÃO DO PERIGO DE CONTAMINAÇÃO**

<i>Perigo de contaminação</i>			
<i>Índice de vulnerabilidade natural</i>	<i>Potencial de contaminação</i>		
	<i>Elevado</i>	<i>Moderado</i>	<i>Reduzido</i>
Extremo	Extremo	Alto	Moderado
Alto	Alto	Alto	Moderado
Médio	Alto	Moderado	Baixo
Baixo	Moderado	Baixo	Desprezível

Uma vez definido o potencial de carga contaminante associado às diferentes atividades agrícolas, foi realizado o cruzamento dessas informações com os índices de vulnerabilidade determinados para as áreas aflorantes do SAG, de modo a obter a classificação do perigo de contaminação segundo as classes desprezível, baixa, moderada, alta e extrema (Quadro 1.38). Além disso, a mesma metodologia foi aplicada para as formações sotopostas ao SAG (com exceção da Formação Serra Geral, que exigiria metodologia específica).

#### **1.10.4 Mapa de Perigo de Contaminação do SAG por Fontes Difusas da Área Piloto de São Gabriel do Oeste**

A classificação do potencial contaminante de acordo com o tipo de cultura, proposta por Gomes (2008), para área piloto de São Gabriel do Oeste, definiu três classes principais de atividades agrícolas, compreendendo culturas anuais, perenes e pastagens (Quadro 1.39).

**QUADRO 1.39 – POTENCIAL DE CARGA CONTAMINANTE ASSOCIADO ÀS PRINCIPAIS ATIVIDADES AGRÍCOLAS NA ÁREA PILOTO DE SÃO GABRIEL DO OESTE**

<i>Fonte de Atividades agrícolas</i>	<i>Potencial de carga contaminante</i>
Pastagens	Moderado
Culturas anuais	Elevado
Culturas perenes	Moderado

O resultado do cruzamento do potencial de carga contaminante associado ao uso da terra com os índices de vulnerabilidade determinados para as áreas aflorantes do SAG gerou uma classificação de perigo de contaminação distribuída nas classes, alto, moderado e baixo, de acordo com o Quadro 1.40, para áreas do piloto de São Gabriel do Oeste.

**QUADRO 1.40 – CLASSIFICAÇÃO DO PERIGO DE CONTAMINAÇÃO NA ÁREA PILOTO DE SÃO GABRIEL DO OESTE (MS)**

<i>Área piloto de São Gabriel do Oeste (MS)</i>		
<i>Classes</i>	<i>Área km<sup>2</sup></i>	<i>%</i>
Extremo	0	0,0%
Alto	244,7	14%
Moderado	778,5	44%
Baixo	0,2	0%
Desprezível	0	0,0%
Sem classificação	739	42%
<b>Total</b>	<b>1.762,4</b>	<b>100,0%</b>

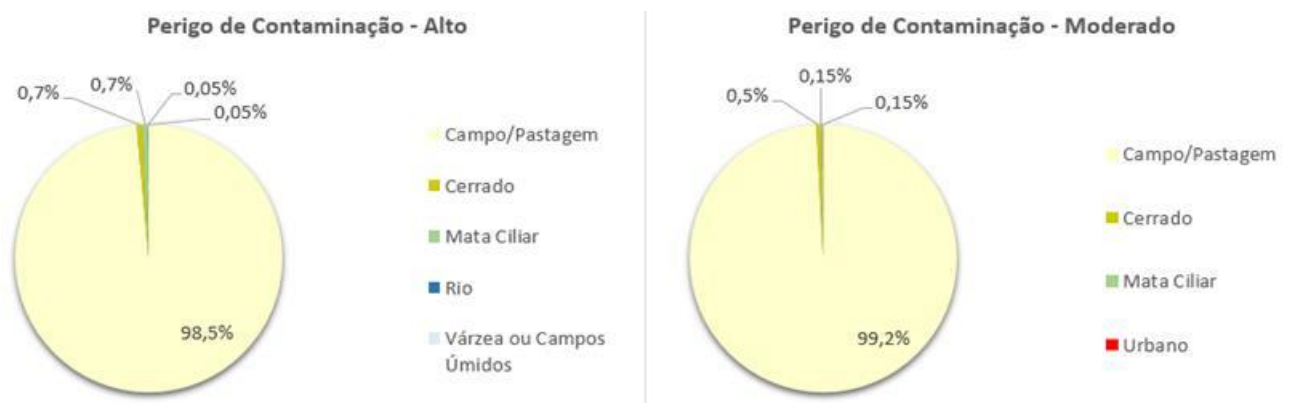
As classes de perigo de contaminação “moderado” e “alto” mostram distribuição, respectivamente, de 44% e 14% na área. As classes “baixo” e “extremo” são desprezíveis. As áreas não classificadas predominam com 42% do total da área.

Ressalta-se que nestas áreas classificadas como “alto” e “moderado” perigo de contaminação, que totalizam 58% da área de afloramento da área piloto, os usos da terra predominantes são Campo, Cerrado e Mata Ciliar, como apresentado no Quadro 1.41. Os demais tipos de uso são pouco significativos, apresentam área inferior a 1 km<sup>2</sup>.

**QUADRO 1.41 – CLASSIFICAÇÃO DO PERIGO DE CONTAMINAÇÃO POR USO DA TERRA NA ÁREA PILOTO DE SÃO GABRIEL DO OESTE (MS)**

Área piloto de São Gabriel do Oeste (MS)					
Uso da Terra	Classes (Área em km <sup>2</sup> )				
	Extremo	Alto	Moderado	Baixo	Total
Campo/Pastagem	-	241,1	771,9	0,2	1.013,2
Cerrado	-	1,7	4	-	5,7
Mata Ciliar	-	1,7	2,1	-	3,8
Rio	-	0,1	-	-	0,1
Urbano	-	-	0,5	-	0,5
Várzea ou Campos Úmidos	-	0,1	-	-	0,1
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>244,7</b>	<b>778,5</b>	<b>0,2</b>	<b>1.023,4</b>

Nestas áreas de “alto” e “moderado” perigo de contaminação, o Campo/Pastagem constitui o tipo de uso preponderante, representando 98,5% e 99,2%, respectivamente destas classes. A relação entre o perigo de contaminação e o tipo de uso da terra nos afloramentos da área piloto de São Gabriel do Oeste está apresentada na Figura 1.78. É importante destacar que a área classificada compreende as áreas de afloramento do SAG acrescidas de um *buffer* de 1 km, conforme mostra a Figura 1.79, que apresenta o mapa de perigo de contaminação por fontes potenciais difusas associadas às atividades agrícolas da área piloto de São Gabriel do Oeste.



**Figura 1.78 – Distribuição dos tipos de uso do solo nas classes de perigo de contaminação, na área piloto de São Gabriel do Oeste (MS)**

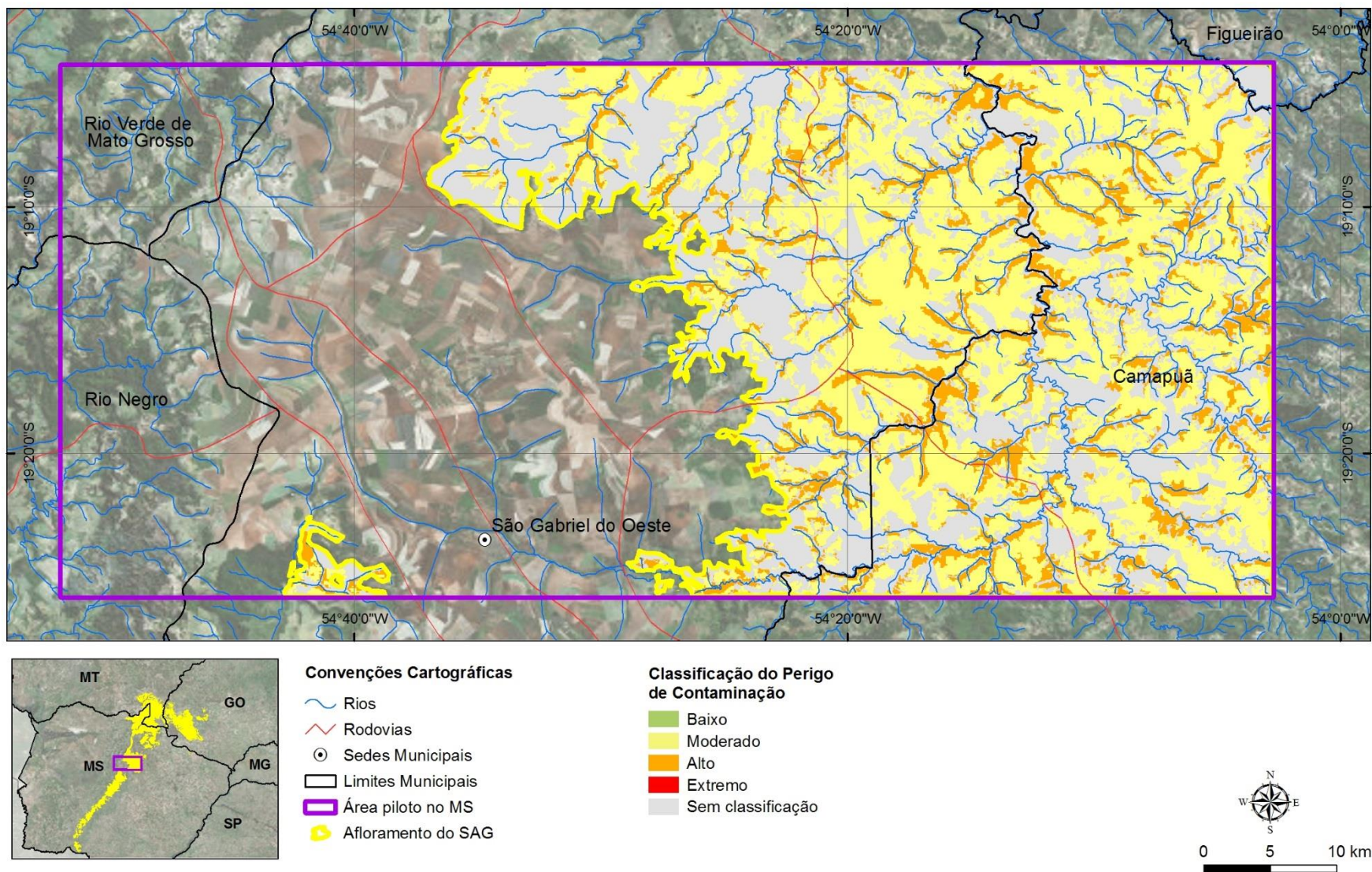


Figura 1.79 – Mapa de perigo de contaminação do SAG aflorante na área piloto de São Gabriel do Oeste, por fontes difusas.

---

## **2. ESTRATÉGIAS DE PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SAG NA ÁREA PILOTO DE SÃO GABRIEL DO OESTE**

### **2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

---

As estratégias de proteção das águas subterrâneas do SAG foram apresentadas para toda a região do aquífero no Tomo I do presente Relatório Final, considerando duas vertentes: a disseminação de informações e a gestão integrada do território.

Complementarmente, definiram-se, no Tomo I acima referido, o embasamento legal e as diretrizes para a elaboração de normas legais específicas para a proteção do aquífero, bem como a ferramenta de gerenciamento espacial proposta, constituída pelo Sistema de Informações Geográficas – SIG, desenvolvido no âmbito do presente estudo.

Dessa forma, no presente Tomo II, são destacadas algumas estratégias específicas para a área piloto de São Gabriel do Oeste.

### **2.2 GESTÃO INTEGRADA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, MEIO AMBIENTE E USO DA TERRA NO TERRITÓRIO DE ABRANGÊNCIA DO SAG AFLORANTE**

---

#### **2.2.1 O Uso e Ocupação da Terra nas Áreas de Afloramento do SAG**

Para a proposta de gestão integrada do uso e ocupação da terra nas áreas de afloramento do SAG, conta-se com o mapeamento de vulnerabilidade e de perigo de contaminação do aquífero. Tal mapeamento é de fundamental importância para subsidiar ações de disciplinamento do uso e ocupação da terra na área de afloramento do aquífero, servindo como referência básica para a tomada de decisões por parte dos órgãos ambientais dos Estados e municípios, bem como para orientar o planejamento dos órgãos de saneamento.

É certo que as atividades antrópicas representam risco ao aquífero e à qualidade de suas águas. Assim, a gestão do SAG deve levar em consideração os diversos usos da água subterrânea ao longo da sua área de afloramento, bem como a identificação das principais fontes potenciais de contaminação.

Em termos do uso e ocupação da terra das áreas de afloramento do SAG e considerando a abrangência da área piloto de São Gabriel do Oeste, sugerem-se algumas ações ou formas de organização para a proteção do aquífero, apresentadas a seguir – ações de caráter geral e mecanismos de planejamento do uso do território municipal.

##### **2.2.1.1 Ações de Caráter Geral**

O primeiro ponto a ser discutido é a necessidade da definição de normas que possibilitem o controle do uso e ocupação do solo, bem como a fiscalização do cumprimento destas normas, as quais constituem estratégias que podem ser adotadas para a proteção do aquífero.

Nos limites dos territórios dos municípios, essas normas são de competência dos poderes públicos municipais, que têm autonomia para a elaboração de leis específicas para o disciplinamento do uso e ocupação antrópica.

Tais normas devem prever estratégias para minimizar impactos decorrentes da implantação de empreendimentos com potencial poluidor em áreas de maior vulnerabilidade ou de proteção do aquífero, bem como indicar a possibilidade de definir e delimitar, por exemplo, zonas destinadas prioritariamente à conservação ambiental ou zonas de especial interesse ambiental quando da elaboração de Planos Diretores Municipais.

Nos casos em que o licenciamento ambiental seja de competência dos municípios, os órgãos responsáveis devem estabelecer maiores exigências para os estudos ambientais requeridos para a concessão de licenças para empreendimentos com maior potencial de contaminação localizados nas áreas de vulnerabilidade à contaminação do aquífero mais elevada; dentre esses, incluem-se, os estabelecimentos industriais, projetos de agricultura irrigada (pelo seu potencial de utilização de agrotóxicos e defensivos agrícolas), empreendimentos minerários e unidades de tratamento de esgotos domésticos.

Da mesma forma, no contexto da tomada de decisões sobre a aplicação de recursos, os órgãos do setor de saneamento devem considerar as áreas de maior vulnerabilidade do aquífero como prioritárias para implantação de sistemas de saneamento básico, visando reduzir o perigo de contaminação, bem como evitar a instalação, nessas áreas, de sistemas de disposição de resíduos sólidos, buscando áreas de menor vulnerabilidade, de preferência fora das áreas de afloramento de aquíferos porosos, uma vez que um dos critérios para seleção de locais para implantação de aterros sanitários, por exemplo, é, justamente, o potencial de contaminação do aquífero.

Também devem ser atendidas as recomendações técnicas e as normas vigentes relacionadas com a construção de fossas sépticas, além das normas para a construção de poços tubulares profundos e poços cacimba.

Dentre as metas a serem adotadas nos Planos Municipais de Saneamento Básico, deve constar a universalização dos serviços de coleta e tratamento de esgotos, além da adequação de todos os sistemas de depósito e tratamento de resíduos sólidos. Tais metas devem fazer parte dos referidos planos, instituídos pela Lei Federal nº 11.445/07, que institui a Política Nacional de Saneamento Básico. O atendimento dessas metas é imprescindível para a prevenção da contaminação do SAG e também de outros aquíferos.

No caso dos resíduos sólidos, experiências bem-sucedidas indicam que a constituição de consórcios intermunicipais é um mecanismo de gestão que pode ser utilizado, visando à seleção de área localizada em região de baixa vulnerabilidade do SAG ou mesmo fora das áreas de afloramento do aquífero, para abrigar aterro sanitário para disposição dos resíduos sólidos de mais de um município.



Tais consórcios são associações civis sem fins lucrativos que reúnem diferentes municípios para a execução de ações conjuntas que se fossem produzidas individualmente, não atingiriam os mesmos resultados ou utilizariam um volume maior de recursos, além de demandar mais tempo.

Após a implementação prática de ações de planejamento, tais como as acima expostas, cabe, ainda, a execução de atividades de fiscalização, que dependem do aparelhamento e capacitação dos órgãos responsáveis, nomeadamente, dos órgãos ambientais.

Nesse sentido, a questão assume contornos complexos, na medida em que são grandes as dificuldades para realização de fiscalização eficiente e eficaz no Brasil, via de regra, pela inexistência de corpo técnico em número suficiente. No entanto, não se pode conceber estratégias para proteção dos recursos ambientais sem considerar a obrigatoriedade da fiscalização permanente, para identificação de problemas de toda a sorte, descumprimento da legislação etc.

Do ponto de vista dos atores governamentais (União, Estados e municípios), e não governamentais, a conexão entre os sistemas de gestão de recursos hídricos e de meio ambiente é um modo de induzir a produção de resultados convergentes e possibilitar a mediação de conflitos de competência e interesses, na busca de ações integradas para a proteção do aquífero.

#### *2.2.1.2 Mecanismos de Planejamento Local*

No presente estudo e considerando o contexto da área de interesse, entende-se que instrumentos de planejamento estratégico do uso e ocupação do território para a gestão dos recursos naturais são imprescindíveis para a proteção das áreas de afloramento do SAG. Dentre esses instrumentos, destacam-se os Planos Diretores Municipais, de maior interesse à área piloto de São Gabriel do Oeste.

Conforme já referido, a competência para legislar sobre o uso do solo nos municípios é do poder público municipal.

Dessa forma, caberia às municipalidades a elaboração de Planos Diretores que levassem em conta as áreas de afloramento do SAG mapeadas como de extrema, alta e média vulnerabilidade, definindo para elas, zonas destinadas a usos para conservação ambiental e evitando o uso industrial ou mesmo para expansão de áreas urbanas; e no caso dos Planos já existentes, poderia ser realizada uma revisão das diretrizes predefinidas, inserção de restrições etc.

Diversos municípios têm definidas taxas máximas de impermeabilização de terrenos, para que haja infiltração das águas subterrâneas. Essas taxas devem ser revistas para as áreas de afloramento de aquíferos, em especial do SAG. O ideal é que elas fossem mais restritivas em áreas mais vulneráveis do SAG.

Evidentemente, essas não são tarefas fáceis, haja vista que as cidades já se encontram constituídas e consolidadas, contudo, cabe recomendar essas ações, seja para implementação em curto, médio ou longo prazo, à medida que a conscientização da sociedade e do meio técnico sobre a necessidade de proteção dos aquíferos for amadurecendo.

### **2.2.2 Unidades de Conservação Municipais e a Proteção do SAG**

Segundo a Lei Federal nº 9.985, de 18 de junho de 2000, uma Unidade de Conservação (UC) é definida como “espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção” (Cap. I; art 2º/I). Essas unidades de conservação estão divididas em duas categorias de manejo: Unidades de Proteção Integral, objetivando “preservar a natureza, sendo admitido apenas uso indireto dos seus recursos naturais” (Cap. III; art.7º; §1º); e Unidades de Uso Sustentável, objetivando “compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela de seus recursos naturais” (Cap. III; art.7º; §2º).

São consideradas Unidades de Proteção Integral as seguintes categorias de Unidades de Conservação: Estação Ecológica, Reserva Biológica, Parque, Monumento Natural e Refúgio de Vida Silvestre. Constituem Unidades de Uso Sustentável as Áreas de Proteção Ambiental, Área de Relevante Interesse Ecológico, Floresta Nacional, Reserva Extrativista, Reserva da Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular do Patrimônio Natural.

A consolidação e/ou o fortalecimento das UCs localizadas em áreas de afloramento do SAG constituem uma forma de proteção do aquífero, na medida em que, sendo as UCs do tipo de Proteção Integral, não são permitidos usos antrópicos com potencial de impactar os ecossistemas nos seus limites, e sejam elas de Uso Sustentável, são permitidos usos controlados, que atendam a um Plano de Manejo preestabelecido.

Estando as UCs sob proteção legal, as normas a elas aplicáveis serão absorvidas também, indiretamente, no âmbito da proteção do SAG.

Tanto a União como os Estados e os municípios podem criar UCs com status de proteção integral ou uso sustentável, que, portanto, podem ser da administração federal, estadual ou municipal, com gestão pelos respectivos órgãos ambientais dessas três instâncias.

Considerados os aspectos legais diretamente relacionados à gestão das UCs, que de forma geral contribuem para o estabelecimento de restrições e para o ordenamento dos usos de seus territórios, entende-se que as Unidades de Proteção Integral têm toda a sua área atualmente conservada e protegida, com baixo risco ou, até mesmo, risco nulo de contaminação do aquífero.

Por sua vez, para as UCs de Uso Sustentável é recomendável que sejam identificadas e delimitadas as áreas de maior fragilidade de contaminação do aquífero, de tal forma a permitir a correspondente proposição de medidas de restrição para certas tipologias de uso ou controle de uso do solo, no contexto dos respectivos Planos de Manejo.

No caso de serem criadas UCs municipais na área piloto de São Gabriel do Oeste, os seus Planos de Manejo devem considerar a localização das áreas de proteção do SAG, quando aplicável, respeitando, ainda, também quando aplicável, as diretrizes do Plano de Manejo da APA sugerida por este estudo (ampliação da APA Rio Cênico Rotas Monçoeiras em cerca de 2.350 km<sup>2</sup> - ver item 5.3.2, mais adiante), caso ela venha a ser criada antes da UC municipal.

Uma outra ação recomendada aos órgãos ambientais municipais quando responsáveis por licenciamentos ambientais de empreendimentos localizados em UCs situadas em áreas de afloramento do SAG seria a de priorizar a aplicação de recursos da compensação ambiental nessas UCs, contribuindo para a proteção do aquífero.

No item 5.4 deste relatório, são expostas diretrizes específicas, recomendando que as normas instituidoras das Unidades de Conservação contenham dispositivo enfatizando a necessidade de se considerar a incidência das águas subterrâneas nos seus Plano de Manejo, ainda que a finalidade da criação do espaço protegido não seja necessariamente essa.

### **2.2.3 Diretrizes para Controle da Contaminação das Águas Subterrâneas**

Segundo Foster *et al.* (2006), a vulnerabilidade do aquífero à contaminação deve ser concebida em relação interativa com a carga contaminante que é (será ou poderá ser) aplicada no ambiente subterrâneo como resultado da atividade humana, causando, assim, o perigo de contaminação da água.

Uma vez que se pode controlar a carga contaminante, a política de proteção da água subterrânea deve focar-se na obtenção do controle necessário, segundo a vulnerabilidade do aquífero (ou, em outras palavras, segundo a capacidade natural dos estratos de cobertura do aquífero de atenuarem a contaminação).

No presente item, apresentam-se diretrizes para controle dessa contaminação, considerando a prevenção da contaminação futura, o manejo de fontes potenciais de contaminação existentes, o método recomendado para investigação de passivos ambientais e a escolha de novas áreas para abastecimento com uso de águas subterrâneas.

#### **2.2.3.1 Prevenção da Contaminação Futura**

Nos casos em que o planejamento do uso da terra é uma prática habitual, por exemplo, para a expansão de uma área urbana ou para a realocação de uma zona industrial, os mapas de vulnerabilidade são uma ferramenta valiosa para reduzir o risco de um futuro perigo de contaminação da água subterrânea. Eles identificam as áreas mais vulneráveis à contaminação, permitindo que atividades que representam perigo potencial sejam proibidas ou evitadas nesses locais.

Se a área em questão já tem fontes de abastecimento importantes, devem-se definir áreas de proteção para essas fontes como parte do planejamento, utilizando-se o mapa de perigo de contaminação do aquífero para orientar os níveis de controle necessários para a atividade potencialmente poluente.

Em escalas de mapeamento mais detalhadas para definição do perigo de contaminação, as características dos solos do entorno das fontes poluentes também devem ser consideradas, tendo em vista que contribuem para a maior ou menor dispersão e transporte de poluentes que poderão atingir o aquífero.

A aplicação desse método deve ser flexível a cada caso analisado, levando-se em conta o nível provável da demanda futura de água do aquífero e o custo de fontes alternativas de abastecimento de água (Foster et. al., 2006).

No caso de novas atividades potencialmente poluentes de larga escala e grande potencial de impacto, a exigência de um Estudo de Impacto Ambiental (EIA) como parte do processo de autorização é hoje uma prática legal e/ou técnica aceita. Portanto, caberá aos órgãos municipais de meio ambiente de São Gabriel do Oeste e Camapuã solicitar maiores exigências para o licenciamento de empreendimentos com potencial poluidor mais expressivo, nos casos em que lhes couber a atribuição do licenciamento ambiental.

A experiência demonstra que esse mecanismo assegura uma melhor avaliação dos impactos ambientais (inclusive sobre a qualidade da água subterrânea) na fase de planejamento, favorecendo a adoção de uma abordagem mais eficaz para a proteção ambiental.

O foco do EIA está na definição e análise de problemas, conflitos e limitações relacionados com a implementação de projetos, entre eles, o impacto sobre as atividades vizinhas, a população local e o ambiente próximo (UNEP, 1988; apud Foster et al., 2006); em certos casos, pode levar à realocação do projeto para um local mais aceitável.

O EIA é parte integrante do estudo de viabilidade do projeto, e os estudos sobre a água subterrânea devem assumir especial importância quando estão envolvidos certos tipos de produção industrial, grandes aterros para despejo de resíduos sólidos, empresas de mineração, agricultura intensiva irrigada de grande escala etc. Portanto, os mapas de vulnerabilidade e de perigo de contaminação do aquífero e a definição do tempo de fluxo e das zonas de captura das fontes de abastecimento de água subterrânea são dados fundamentais que devem fazer parte do escopo do EIA.

Tentar eliminar a possibilidade de descarga de efluentes pode ser muito dispendioso e, às vezes, desnecessário. Assim, uma das melhores maneiras de obter vantagem econômica e reduzir o perigo de contaminação ambiental é assegurar que o uso do solo proposto seja totalmente compatível com sua capacidade de atenuar possíveis contaminantes (Foster et al., 2006).

O item 2.4 deste relatório aborda diretrizes específicas para o licenciamento ambiental de empreendimentos com potencial de contaminação das águas subterrâneas, no âmbito das atribuições dos municípios.

### 2.2.3.2 *Manejo de Fontes Potenciais de Contaminação Existentes*

Em áreas onde já existem várias atividades potencialmente poluentes, a principal necessidade será estabelecer prioridades para as medidas de controle da contaminação da água subterrânea. Tanto nas zonas rurais como urbanas, será necessário primeiro definir qual, dentre essas atividades, representa perigo mais sério para a qualidade da água. Três componentes constituem a base fundamental para essa avaliação: mapeamento da vulnerabilidade e perigo de contaminação do aquífero; delimitação das áreas de proteção das fontes de abastecimento; e cadastro das fontes potenciais de contaminação, incluindo a determinação da carga contaminante de subsolo – tipo, quantidade e forma de disposição.

Em muitos casos, é possível reduzir ou eliminar a carga contaminante de subsolo com modificações no projeto. Por exemplo, o saneamento *in situ* pode ser substituído por rede de esgoto, as lagoas de evaporação/percolação dos efluentes podem ser substituídas por plantas de tratamento de efluentes, e mesmo um cemitério pode ser substituído por um crematório.

É preciso reconhecer, no entanto, que os controles voltados para a redução de uma futura carga contaminante de subsolo não eliminarão os contaminantes que já existem desde práticas passadas. Por exemplo, a instalação de redes de esgoto num distrito urbano reduzirá radicalmente a carga contaminante gerada pelo saneamento *in situ*, mas as várias toneladas de contaminantes depositadas no subsolo durante as décadas anteriores ainda podem liberar uma significativa carga contaminante no aquífero mais profundo (Foster et. al, 2006).

Em alguns casos e em certas localidades, talvez seja possível aceitar uma atividade potencialmente contaminante sem exigir alterações no projeto existente, desde que se implante uma intensa campanha de monitoramento da qualidade da água. Isso exigiria a instalação de uma rede de monitoramento (capaz de detectar qualquer incipiente contaminação da água subterrânea e alertar antecipadamente sobre a necessidade de ações de remediação) nas proximidades imediatas da atividade em questão (Foster et al., op. cit).

### 2.2.3.3 *Método da Investigação do Passivo Ambiental*

Consideráveis extensões de solo urbano e áreas rurais mais isoladas que estiveram, durante longos períodos, ocupadas por certos tipos de atividade industrial, mineradora ou militar, frequentemente exibem grave contaminação, mesmo em locais onde a atividade foi encerrada há muitos anos. Sob certas circunstâncias, esse solo pode gerar uma séria carga contaminante na água subterrânea.

Nesses casos, é necessário avaliar o risco do impacto sobre seres humanos, animais e vegetais, em decorrência do contato com o solo contaminado e/ou da ingestão daquela água. Esta avaliação de risco é normalmente utilizada para orientar a decisão sobre o tipo de remediação ou medidas de limpeza a ser adotada (Busmaster e Lear, 1991, *apud* Foster et al., 2006). O critério a ser adotado deve ser definido caso a caso, dependendo das informações e dados disponíveis e da orientação do órgão ambiental.

#### 2.2.3.4 Seleção de Novas Áreas para Abastecimento com Água Subterrânea

Segundo Foster *et al.* (2006), em situações nas quais a avaliação identifica atividades capazes de gerar uma elevada carga contaminante de subsolo e/ou quando a vulnerabilidade do aquífero à contaminação é elevada ou extrema na maior parte da zona de captura da fonte, a avaliação deve ser precedida de uma análise técnica e econômica para estabelecer se:

- ✓ será possível controlar adequadamente todas as fontes potenciais de contaminação relevantes;
- ✓ seria aconselhável buscar outros locais para a instalação das novas sistemas de captação de águas subterrâneas.

Desta forma, sempre que possível, os planos diretores devem procurar efetuar esta avaliação técnica e econômica da possibilidade de controle das fontes de contaminação relevantes próximas aos sistemas de captação de água subterrânea para abastecimento público

#### 2.2.3.5 Critérios para Construção de Poços

Uma das razões da contaminação das águas subterrâneas está relacionada com a construção inadequada dos poços, a despeito da existência de normatizações sobre o tema, já definidas pela ABNT.

Assim, as normas de construção de poços tubulares no SAG devem atender aos padrões gerais já estabelecidos pela ABNT, os quais foram previamente analisados e discutidos por comissão de estudos composta por especialistas de diversos ramos interagentes, e integram um instrumento com embasamento jurídico.

As normas brasileiras para projeto e construção de poços tubulares estão contidas em dois títulos da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT:

- ✓ NBR 12.212/2006 – Projeto de Poço para captação de água subterrânea e;
- ✓ NBR 12.244/2006 - Construção de poço para captação de água subterrânea.

A primeira norma trata dos projetos de captação que precedem a extração de água subterrânea dos aquíferos e aborda aspectos técnicos gerais, principalmente no que se refere ao abastecimento público. Já a segunda trata dos aspectos construtivos, também de modo geral e direcionada ao abastecimento público.

Embora existam outros manuais (Manual de Perfuração de Poços Tubulares para Investigação e Captação de Água Subterrânea, produzido pelo projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani; Manual de Projeto e Construção de Poços Tubulares Profundos, produzido pela Fundação Nacional de Saúde – FUNASA), as duas normas da ABNT, acima referidas cumprem bem a função de orientar os trabalhos de perfuração de um poço, devendo, portanto, serem obedecidas em toda a área de afloramento do SAG na área piloto de São Gabriel do Oeste.

### 2.3 ÁREAS DE RESTRIÇÃO E CONTROLE

Áreas de Restrição e Controle (ARC) são caracterizadas pela necessidade de disciplinar as extrações, controlar fontes poluidoras já implantadas e restringir novas atividades potencialmente poluidoras. Essas áreas são identificadas quando indicadores de disponibilidade ou de qualidade da água subterrânea ultrapassam certos limites e colocam em risco o abastecimento público.

Normalmente os indicadores de disponibilidade utilizados referem-se à relação entre a quantidade de água disponível para uso e a quantidade de água captada por poços para abastecimento. Indiretamente, o monitoramento de níveis de água pode alertar para problemas de depleção do aquífero, os quais afetam as disponibilidades hídricas.

Indicadores de qualidade da água subterrânea como, por exemplo, nitrato, cloreto, sólidos totais dissolvidos, elementos de elevada toxicidade como arsênio, chumbo, organoclorados além de microorganismos patogênicos, entre outros, presentes na água, alertam para a presença de fontes de contaminação associadas ao uso e ocupação da terra na área do aquífero, originadas normalmente pelas atividades antrópicas. Por outro lado, a presença de elementos em quantidades acima dos Valores Máximos Permitidos pela legislação também pode estar associada às características geológicas ou à circulação natural de água entre aquíferos com distintos padrões hidroquímicos, sem que haja interferência provocada pela atividade humana.

É importante destacar a Resolução CNRH nº 92/2008 que estabelece critérios e procedimentos gerais para proteção e conservação das águas subterrâneas no território brasileiro, visando identificar, prevenir e reverter processos de superexploração, poluição e contaminação. Para tanto, considera especialmente as áreas de uso restritivo, como medida de alcance dos objetivos propostos, as quais devem constar dos Planos de Recursos Hídricos, conforme previsto no art. 6º da Resolução CNRH nº 22/2002.

Visando a uma classificação de Áreas de Restrição e Controle (ARC) de captação e uso das águas subterrâneas no Estado de São Paulo, a Deliberação nº 52 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH), de 15 de abril de 2005, definiu três situações, como se segue:

- ✓ Áreas Potenciais de Restrição e Controle (ARC-PO): são aquelas onde a densidade de poços tubulares e o volume de água extraído indicam superexploração ou aquelas onde estão sendo ou foram desenvolvidas atividades potencialmente contaminadoras de solo e águas subterrâneas;
- ✓ Áreas Prováveis de Restrição e Controle (ARC-PR): são aquelas onde são observados indícios de superexploração e interferência entre poços ou apresentam indícios de contaminação no solo e águas subterrâneas;
- ✓ Áreas Confirmadas de Restrição e Controle (ARC-CO): são aquelas onde foi constatada a superexploração ou a contaminação das águas subterrâneas.

Observa-se que a conceituação das áreas de restrição e controle com os adjetivos “potenciais”, “prováveis” e “confirmadas” exprimem uma gradação do nível de certeza com relação à

contaminação efetiva do solo e das águas subterrâneas, que varia desde simples percepção até a comprovação real do fato, ou em outras palavras, do pressentível ao mensurável. De qualquer forma, nenhuma das classificações de áreas de restrição e controle pode efetivamente ser aplicada sem que haja um conhecimento mínimo de indicadores de disponibilidade e/ou de qualidade das águas subterrâneas baseados em parâmetros técnicos que incorporam dados de volumes de água outorgados, quantidade de água armazenada e disponível para extração nos aquíferos, densidade de poços em operação e análises hidroquímicas periódicas. As análises hidroquímicas identificam – e permitem classificar – águas subterrâneas com padrões característicos distintos, baseados nos tipos e concentrações dos elementos químicos constituintes, de modo que alterações composicionais posteriores possam alertar para possíveis contaminações.

Poucos exemplos são conhecidos sobre o estabelecimento de áreas de restrição e controle de uso de águas subterrâneas, em áreas de afloramento do SAG. Destaca-se o zoneamento realizado nas regiões urbana e de expansão urbana da cidade de Ribeirão Preto (SP), com base em indicadores de quantidade de água extraída, concentração de poços, prováveis interferências no bombeamento e rebaixamento do nível de água do Sistema Aquífero Guarani (Resolução CRH 82/2008 e Deliberação CBH-PARDO 002/10). Nessas zonas, delimitadas geograficamente em caráter temporário em função da maior ou menor intensidade de uso das águas subterrâneas, foram estabelecidas condições específicas para a perfuração de novos poços e substituição de poços antigos, priorizando o abastecimento público. A conclusão do estudo “Desenvolvimento de Modelo Numérico para a Área do Projeto Piloto de Ribeirão Preto” (EESC/USP, Contrato FEHIDRO 047/2005) deverá fornecer os subsídios técnicos necessários para a exploração de águas subterrâneas do SAG e efetivar o zoneamento atualmente em caráter temporário, de acordo os gestores locais.

Vários municípios do país que exploram água subterrânea do SAG, normalmente em áreas de confinamento ou próximas, têm sido citados em diversas publicações técnico-científicas, periódicos, jornais e seminários, as quais relatam problemas associados à superexploração, como rebaixamento dos níveis de água ou diminuição da carga hidráulica, ou à contaminações esporádicas das águas subterrâneas. Em praticamente todos os casos, ausência de controle sistemático de registro de níveis e de análises hidroquímicas completas, aliadas à deficiência no conhecimento geológico básico, principalmente de subsuperfície, não permitem a comprovação científica dos fatos, relegando as observações ao campo das especulações.

Embora neste estudo tenha havido uma atividade de Cadastro de Poços e duas campanhas de medição de NA os dados obtidos, mesmo consolidados com as informações preexistentes não foram suficientes para calcular a potencialidade e a quantidade de água passível de ser extraída no aquífero, que constituem informações essenciais para determinação dos indicadores de disponibilidade hídrica do SAG, um dos parâmetros utilizados para o cálculo das áreas de restrição e controle.

Além disso, o foco principal deste estudo eram as questões de vulnerabilidade e risco de contaminação. Em relação aos indicadores de qualidade, a água não deve conter elementos



em quantidades acima dos valores máximos permitidos pela legislação ou elementos considerados contaminantes.

A seleção de parâmetros analíticos para o monitoramento da qualidade de águas subterrâneas é necessária em função da complexidade hidrogeológica, da variada gama de elementos potencialmente presentes nas águas, do difícil acesso e representatividade das amostras (CETESB, 1998). Várias espécies químicas, tais como sódio, cloreto, magnésio, sulfato, ferro manganês, flúor, bário, cromo etc., podem estar presentes naturalmente nas águas subterrâneas, como um resultado da interação geoquímica água-solo-rocha (CETESB, 1998). No Estado de São Paulo, por exemplo, a CETESB optou pela determinação de alguns indicadores de qualidade, acrescidos dos elementos de maior interesse, em termos de ocorrência natural, e alguns indicadores de efeito antrópico, a seguir:

- ✓ Parâmetros físicos e químicos: temperatura, pH, condutividade elétrica, cálcio, cloreto, cromo total, dureza total, ferro total, fluoreto, nitrogênio amoniacal, nitrogênio nitrato, nitrogênio nitrito, nitrogênio Kjeldahl total, potássio, sólidos dissolvidos totais;
- ✓ Parâmetros bacteriológicos: Contagem Padrão de Bactérias, Coliformes Totais e Coliformes Fecais.
- ✓ Atividade estrogênica: avaliação dos interferentes endócrinos, por meio da determinação da atividade estrogênica. Interferentes endócrinos são compostos que possuem a capacidade de interferir na produção ou ação dos hormônios, podendo causar danos ao sistema reprodutor e imunológico de organismos superiores, especialmente organismos aquáticos. Estes compostos podem atingir os mananciais subterrâneos pela contaminação com esgoto doméstico ou pela percolação de pesticidas ou outros compostos aplicados no solo.

Os resultados das análises químicas realizadas neste projeto mostraram que quase todas as amostras de água estão com parâmetros químicos situados abaixo dos limites máximos permitidos pela legislação vigente (Portaria nº 2.914/11). As exceções (Quadro 2.1) podem corresponder a: i) vazamentos em redes de esgotamento sanitário, presença de fossas sépticas ou origem nas camadas superiores do solo, no caso da detecção de nitrato acima do Valor Máximo Permitido; ii) presença de minerais ferromagnesianos constituintes de rochas vulcânicas ou corrosão de revestimento e de tubulações adutoras de poços, no caso de ferro e manganês; iii) captação de águas subterrâneas de unidades hidroestratigráficas com influência deposicional marinha, localizadas abaixo do SAG, no caso da presença de flúor, sódio e sulfato com teores elevados. Por outro lado, a maioria das amostras apresentou contaminação microbiológica em razão da falta de cimentação e de proteção sanitária dos poços, conforme o Quadro 2.1.

Para determinar se esses elementos com concentrações acima do Valor Máximo Permitido estão vinculados somente ao poço no qual foram coletadas as amostras de água ou estão propagados por área mais extensa do aquífero, investigações posteriores de caráter local devem ser feitas para dirimir as dúvidas.

No caso específico de SGO, conforme apresentado no item 1.5.3, apenas em uma amostra foi detectado teor de chumbo acima do VMP (GN 183). Alguns outros elementos como agroquímicos e fenóis foram detectados, mas em concentrações muito baixas. Destaca-se o alto índice de coliformes totais (6 em 8 poços) embora em sua maior parte com baixas concentrações de nitrato, todas associadas às zonas rurais. Considerando a distribuição e número de poços amostrados para análise e os resultados dos parâmetros hidroquímicos, não se justifica a proposição de áreas com necessidade de medidas de controle mais restritivas nas faixas de afloramentos do SAG na área do piloto de São Gabriel do Oeste, no momento atual.

**QUADRO 2.1 – PARÂMETROS ACIMA DOS VALORES MÁXIMOS PERMITIDOS PELA PORTARIA MS 2.914/11 DE AMOSTRAS DE ÁGUA COLETADAS NAS DUAS CAMPANHAS.**

Amostra	UF	Município	Íons	VMP (2.914/11) (mg/L)	Valor Obtido (mg/L)
GN050	MS	Nioaque	Nitrato	44	102 - 45,6
GN100	MT	Alto Araguaia			113 - 124
GN114	MT	Alto Araguaia			47,3
GS145	RS	S. Fco. Assis			83,2
GS146	RS	Santa Maria			58,1 - 60,2
GS153	RS	Santana do Livramento			51,2 - 52,3
GN047	GO	Mineiros	Ferro	0,3	1,47
GN206	MS	Terenos			0,88
GS169	SC	Urubici			0,5 - 08
GN052	MS	Nioaque	Manganês	0,1	0,11 - 0,17
GN100	MT	Alto Araguaia			1,62 - 2,94
GN101	MT	Alto Araguaia			0,16
GN111	MT	Alto Araguaia			0,13 - 0,13
GN114	MT	Alto Araguaia			0,25 - 0,15
GS145	RS	S. Fco. Assis			0,1
GS169	SC	Urubici			0,64 - 0,79
GN206	MS	Terenos			Fluoreto
GN047	GO	Mineiros	1,47		
GS169	SC	Urubici	0,5 - 08		
GS086	RS	Restinga Seca	Sódio	200	225
GS148	RS	Santa Maria			448
GS148	RS	Santa Maria	Sulfato	250	444 - 395
GS167	SC	Timbé do Sul			255

## 2.4 PROPOSIÇÃO DE ÁREAS DE PROTEÇÃO DE AQUÍFEROS

Independentemente do estabelecimento de áreas de proteção, aquíferos aflorantes devem ser sistematicamente monitorados quanto à preservação da qualidade de suas águas para os diversos usos, principalmente abastecimento público. Nesse sentido, legislações e diretrizes específicas devem ser aplicadas pelos órgãos ambientais para controle das práticas agrícolas e uso da terra, para a instalação de empreendimentos industriais em zonas urbanas. Não se pode

ignorar que todo aquífero aflorante é, em menor ou maior grau, vulnerável a contaminantes e, portanto, não existe uma única porção que não mereça cuidados.

Áreas de proteção de aquíferos são áreas selecionadas e delineadas no terreno com base em critérios técnicos e/ou políticos, cuja função é manter e preservar as condições naturais do aquífero, como capacidade de infiltração e capacidade de atenuação ou degradação de substâncias poluentes, de modo a assegurar suprimento público de água adequado e de boa qualidade.

Os critérios técnicos para seleção de áreas de proteção incluem análises de mapas de vulnerabilidade, mapas de uso e ocupação da terra e mapas de perigo de contaminação. Os critérios políticos incluem amplas discussões com órgãos gestores de recursos hídricos, de meio ambiente, prefeituras, comitês de bacias hidrográficas e representantes da sociedade civil. Também devem ser avaliadas as questões de ordem econômica, as quais exercem pressão sobre áreas naturais ou de preservação ambiental.

As áreas de proteção de aquíferos podem ter caráter local ou regional. Em muitos países, como nos EUA, as áreas de proteção estão diretamente vinculadas às bacias contribuintes dos sistemas de captação por meio de poços, o que lhes confere caráter local. Em outros, como no Brasil, as áreas de proteção de aquíferos tendem a ser extensas e não estão, necessariamente, associadas às bacias de contribuição das captações subterrâneas, conferindo-lhes caráter regional.

O método para proposição de áreas de proteção, com a finalidade de manter as características naturais do solo e da cobertura vegetal, de modo a favorecer a recarga direta, baseou-se no mapeamento do uso da terra e na vulnerabilidade natural do aquífero.

O mapeamento do uso da terra evidenciou áreas naturais com cobertura de matas, matas galeria e várzeas pouco impactadas pela atividade antrópica. As duas últimas são áreas protegidas por legislação específica e localizadas em regiões de descarga de águas subterrâneas, portanto, foram desconsideradas para indicação de áreas de proteção. Já as áreas de mata ou de cerrado representam terrenos que beneficiam a manutenção do regime hídrico subterrâneo e constituem áreas potenciais para proteção do aquífero.

O mapa de vulnerabilidade definiu regiões classificadas como de grau insignificante, baixo, médio, alto e extremo quanto à facilidade de acesso à infiltração de contaminantes pelo solo. Áreas de vulnerabilidade alta a extrema normalmente estão associadas às zonas de descarga, nas quais o nível de água do aquífero está próximo ou aflora na superfície do terreno. Áreas de vulnerabilidade insignificante a baixa são caracterizadas pela distância superior a 50 metros da superfície do terreno até o lençol de água subterrâneo, ou por terrenos constituídos por litologias pouco permeáveis que dificultam a recarga natural do aquífero. Assim, áreas com vulnerabilidade média parecem ser as mais interessantes para indicação com vistas à proteção de aquíferos, pois são definidas por litologias permeáveis e profundidades de nível de água entre 20 metros e 50 metros.

Definidos os critérios acima, ou seja, uso da terra por áreas de mata e de cerrado, e vulnerabilidade média do aquífero, o cruzamento dos respectivos mapas definiu regiões potenciais para seleção e proposição de áreas de proteção do SAG. Essas regiões revelaram-se preponderantemente descontínuas, dispersas e com áreas pouco expressivas, com raras exceções. Como critério complementar, as regiões foram agrupadas entre si para formar núcleos maiores, desde que distantes no máximo 1 km umas das outras. Finalizado o agrupamento das regiões, foram consideradas de interesse para indicação como áreas de proteção de aquíferos somente aquelas com superfície superior a 10 km<sup>2</sup>. As indicações, todavia, constituem apenas sugestões baseadas em conceitos técnicos e a implementação das mesmas dependerá da decisão de cada estado envolvido.

Para o Estado de Mato Grosso do Sul foram delimitadas 35 regiões potenciais para indicação de áreas de proteção, com áreas entre 10 km<sup>2</sup> e 119 km<sup>2</sup>, localizadas nos municípios de Nioaque, Anastácio, Terenos, Coxim, Sonora, Rochedo, São Gabriel do Oeste, Pedro Gomes, Camapuã, Figueirão, Alcinoópolis e Costa Rica. Nove (9) dessas regiões, com áreas entre 12 km<sup>2</sup> e 95 km<sup>2</sup>, encontram-se total ou parcialmente inseridas no piloto de São Gabriel do Oeste (MS), que também comporta parte da Área de Proteção Ambiental Rio Cênico Rotas Monçoeiras (Figura 2.1).

Foram definidas estratégias específicas para as áreas de proteção do SAG em Mato Grosso do Sul, envolvendo a área piloto de São Gabriel do Oeste; tais estratégias contemplam a ampliação da área da APA existente (Rio Cênico Rotas Monçoeiras) em cerca de 2.350 km<sup>2</sup>, envolvendo as áreas de proteção do aquífero, conforme ilustrado na Figura 2.2.

A ampliação sugerida abrange territórios dos municípios de, São Gabriel do Oeste, Camapuã e Rio Verde do Mato Grosso, todos eles com áreas inseridas no perímetro da área piloto.

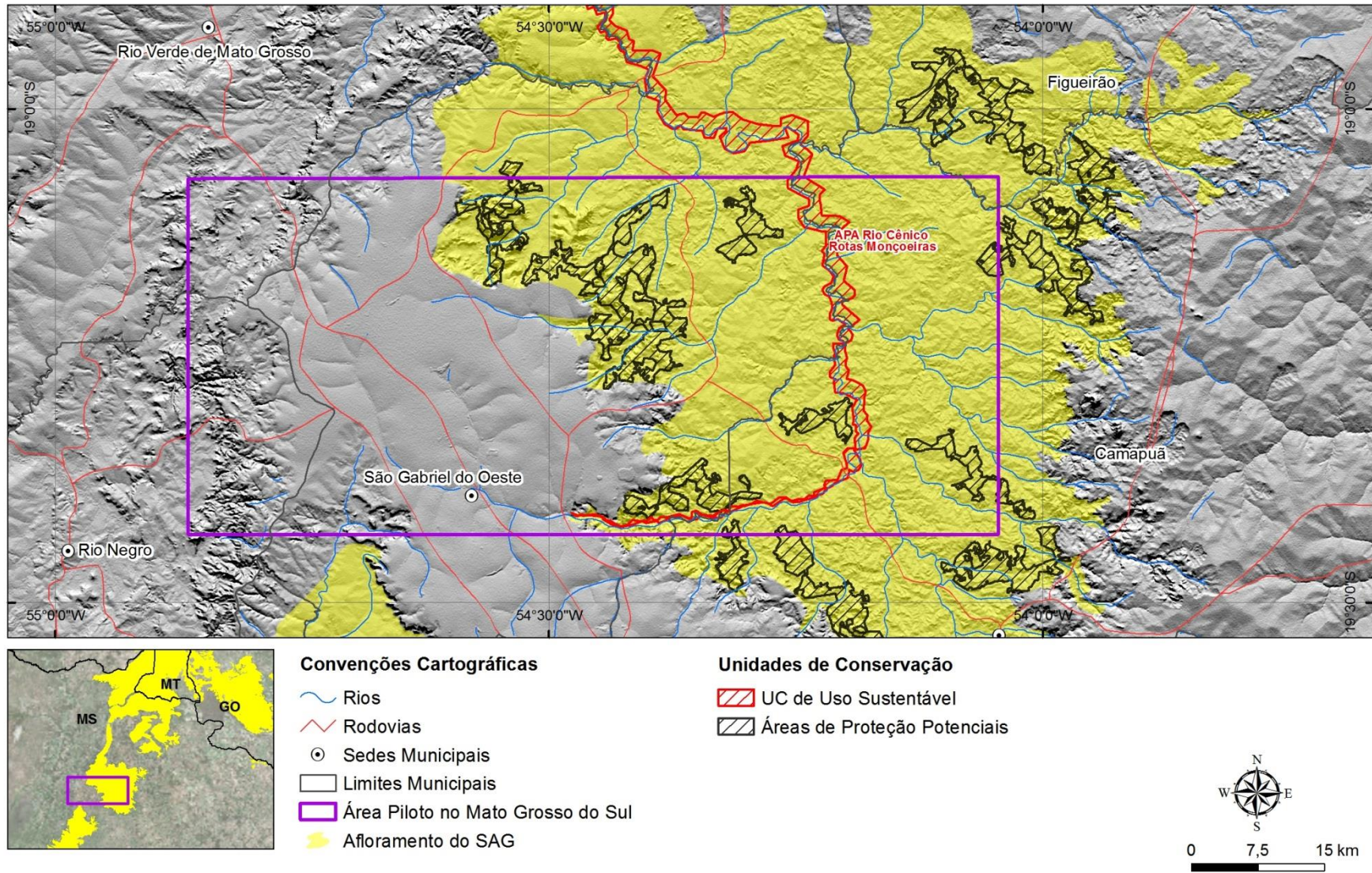


Figura 2.1 – Mapa de localização das áreas de proteção de aquífero indicadas para a área piloto de São Gabriel do Oeste (MS).

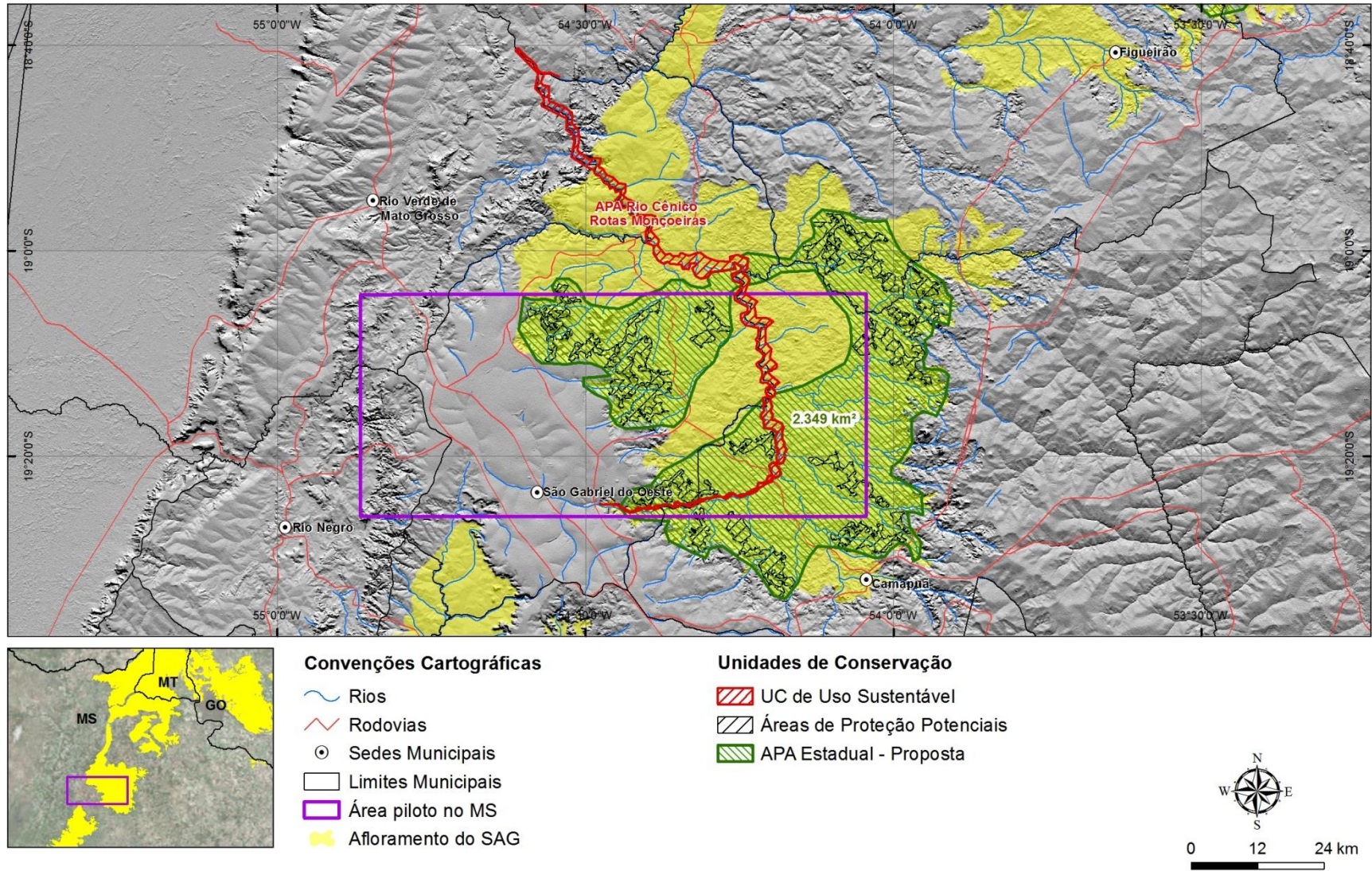


Figura 2.2 – Ampliação proposta para a APA Rio Cênico Rotas Monçoeiras, envolvendo as Áreas de Proteção do SAG na Área Piloto de São Gabriel do Oeste (MS)

---

## 2.5 PERÍMETROS DE PROTEÇÃO DE POÇOS PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO

---

A proteção dos recursos hídricos subterrâneos deve ser baseada em uma lógica, na qual o controle da ocupação da terra e das atividades potencialmente contaminantes deva ser feito a partir de um zoneamento do terreno e de perímetros de proteção de poços (Carvalho & Hirata, 2012). De acordo com Iritani & Ezaki (2010), o perímetro de proteção de fontes de abastecimento de água subterrânea é uma área definida juridicamente, que restringe a ocupação por atividades potencialmente contaminantes no terreno que circunda a captação.

As principais etapas do processo de proteção de captações de água subterrânea para abastecimento público ou privado envolvem a avaliação da área de contribuição, levantamento de fontes de contaminação no interior desta área e avaliação da susceptibilidade da captação aos contaminantes (Kraemer *et al.*, 2007).

Os perímetros de proteção (Chave *et al.*, 2006) podem ser delineados segundo:

- ✓ Zona imediatamente adjacente ao poço de modo a prevenir o rápido ingresso de contaminantes ou danos à captação;
- ✓ Zona baseada no tempo necessário para que ocorra uma redução na presença de patógenos em níveis aceitáveis;
- ✓ Zona baseada no tempo necessário para que ocorra diluição ou atenuação efetiva por degradação de substâncias contaminantes até níveis aceitáveis;
- ✓ Zona que compreende parte da bacia de contribuição, onde o fluxo subterrâneo se dirige para o poço.

O EPA (*Environmental Protection Agency of USA*) estabeleceu um guia de orientação sobre critérios e métodos para delinear perímetros de proteção de poços (USEPA, 1993 e 1994). Os critérios incluem (1) distância, (2) rebaixamento, (3) tempo de residência, (4) condições de contorno e (5) capacidade de assimilação.

O critério distância compreende o espaço entre a captação e um ponto a partir do qual os riscos de contaminação sejam irrisórios; o critério rebaixamento compreende a extensão na qual o bombeamento reduz a superfície potenciométrica de um aquífero não confinando, em outras palavras, representa a zona de influência ou cone de depressão do poço; o critério tempo de trânsito representa o tempo máximo que um contaminante leva para atingir o poço; o critério condições de contorno delimita zonas de recarga ou outras feições hidrogeológicas que controlam o fluxo subterrâneo; o critério capacidade de assimilação compreende o grau de atenuação de contaminantes (redução da concentração) que pode ocorrer em subsuperfície.

Os métodos aplicáveis vão do mais simples aos mais complexos, incluindo mapeamento, raio calculado e modelagem hidrogeológica (Quadro 2.2). Aqui serão discutidos os métodos do Raio Fixo, Raio Fixo Calculado, de Wyssling (fluxo uniforme) e o Computacional Analítico WhAEM2000 (*Wellhead Analytic Element Model*).

**QUADRO 2.2 - CRITÉRIOS E MÉTODOS DE DELINEAÇÃO DE PERÍMETROS DE PROTEÇÃO DE POÇOS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO (USEPA, 1993)**

Critérios	Métodos					
	Raio fixo arbitrado	Raio fixo calculado	Fluxo uniforme	Mapeamento hidrogeológico	Modelagem hidrogeológica	Modelagem de transporte]
Distância	x	x				
Rebaixamento		x	x		x	x
Tempo de residência		x	x		x	x
Limites hidrogeológicos				x	x	x
Capacidade de assimilação						x

O Método do Raio Fixo (RF) consiste na primeira linha de defesa contra contaminantes, inclusive micróbios patogênicos. É definido de modo arbitrário e comumente utilizado quando há carência de dados para aplicação de métodos mais complexos. É normalmente utilizado para estabelecer o perímetro de proteção imediato de poços.

O Método do Raio Fixo Calculado (RFC) utiliza o critério de tempo de trânsito para estimar o perímetro de proteção de poços. O método é empregado assumindo-se as seguintes condições:

- ✓ Os contaminantes não são conservativos ou;
- ✓ Contaminantes conservativos podem ser detectados em tempo suficiente, de modo a permitir a remediação imediata ou a busca de novas fontes alternativas de captação de água potável.

O Método do Raio Fixo Calculado (RFC) é baseado na análise do balanço de água (Figura 2.3). Assumindo-se que não exista fluxo natural de água (superfície piezométrica inicial é horizontal) e que o fluxo em direção ao poço bombeado é radial, a equação que governa o balanço de água para um período de "t" dias é:

$$N\pi R^2 t + n_e \pi R^2 H = Qt \quad (\text{Equação 2.1})$$

Onde: N=recarga devido à precipitação atmosférica (m/d); R= raio de influência para um tempo "t" (m); H= espessura saturada do aquífero (m); t=tempo de residência (d); Q=vazão extraída pelo poço (m<sup>3</sup>/d); n<sub>e</sub>= porosidade efetiva das rochas do aquífero.



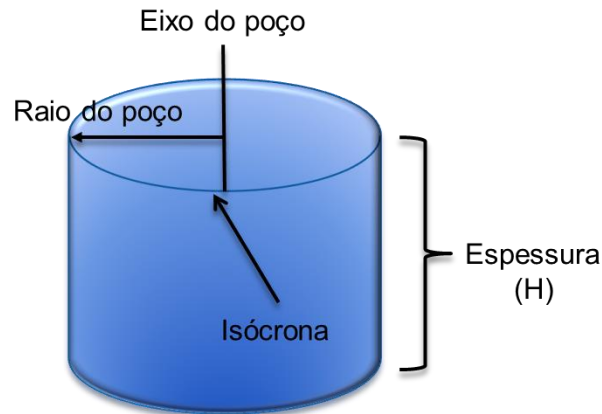


Figura 2.3 - Balanço de água para fluxo radial em direção ao poço, em domínio delineado por isócrona de tempo de residência “t”.

O primeiro termo da equação representa o influxo de água devido à recarga, o segundo termo representa o volume de água do aquífero contido no cilindro de raio “R” a partir do centro do poço, e o último termo representa o volume de água removido por bombeamento no período “t”. Assim, o raio “R” pode ser expresso como:

$$R = 2 \sqrt{\frac{Qt}{N\pi t + n_e \pi H}} \quad (\text{Equação 2.2})$$

Quando “t” torna-se relativamente muito grande, o raio “R” representa a zona de contribuição total, de modo que:

$$R \cong 2 \sqrt{\frac{Q}{N\pi}} \quad (\text{Equação 2.3})$$

Esta equação é conhecida como o método da recarga (USEPA, 1993).

Quando o termo “Nπt” torna-se muito pequeno, a equação reduz-se a:

$$R \cong 2 \sqrt{\frac{Qt}{n_e \pi H}} \quad (\text{Equação 2.4})$$

Esta equação é conhecida como método volumétrico (USEPA, 1993).

O Método de Wyssling (Navarrete & García, 2003, *apud* Iritani & Ezaki, 2010) utiliza a equação de fluxo uniforme em regime permanente, ou seja, quando é admitido que a superfície potenciométrica é inclinada. Neste caso, a área circular de influência associada à configuração do fluxo radial em direção ao poço (Figura 2.4) torna-se distorcida (Todd, 1959).

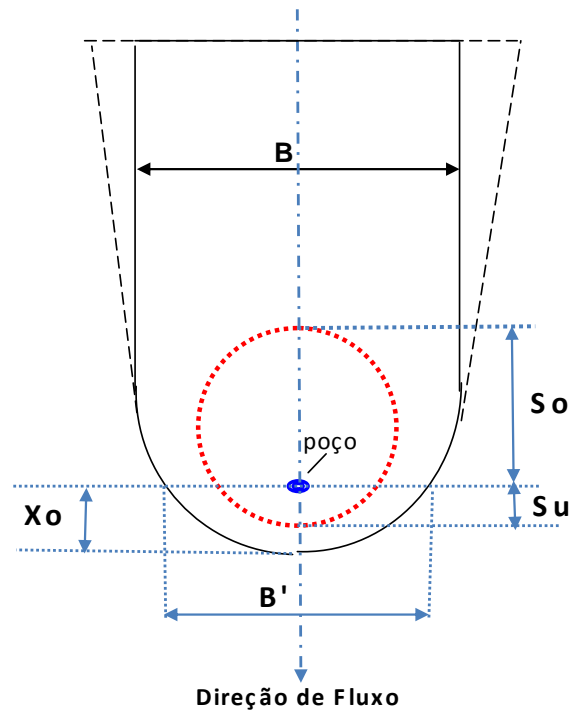


Figura 2.4 - Parâmetros de cálculo pelo método Wyssling (Iritani & Ezaki, 2010, modificado de Wyssling, 1979).

No Método de Wyssling são utilizadas duas equações para cálculo da distância do poço à montante ( $S_o$ ) e à jusante ( $S_u$ ), na direção do fluxo natural, conforme escritas a seguir:

$$B = \frac{Q}{Kbi} \quad (\text{Equação 2.5})$$

$$B' = B / 2 = \frac{Q}{Kbi} \quad (\text{Equação 2.6})$$

$$X_o = \frac{Q}{2\pi Kbi} \quad (\text{Equação 2.7})$$

$$S_o = \frac{+l + \sqrt{l(l + 8X_o)}}{2} \quad (\text{Equação 2.8})$$

$$S_u = \frac{-l + \sqrt{l(l + 8X_o)}}{2} \quad (\text{Equação 2.9})$$

A variável "L" das equações é dada por:

$$l = Ve \cdot t \quad (\text{Equação 2.10}) \quad \text{e} \quad Ve = \frac{K \cdot i}{n_e} \quad (\text{Equação 2.11})$$

Onde:  $B$  = largura da zona de captura a jusante (m),  $B'$  = largura da zona de captura a montante (m),  $Q$  = vazão de exploração ( $m^3/d$ ),  $K$  = condutividade hidráulica (m/d),  $b$  = espessura do aquífero (m),  $i$  = gradiente hidráulico (m/m),  $X_o$  = distância do poço ao ponto neutro a jusante (m),  $S_o$  = distância correspondente ao tempo (t) no sentido do fluxo a montante da captação (m),  $S_u$  = distância correspondente ao tempo (t) no sentido do fluxo a jusante da captação (m),  $V_e$  = velocidade real de fluxo (m/d),  $t$  = tempo de residência (d) e  $n_e$  = porosidade efetiva.

O Método Computacional Analítico de Fluxo Subterrâneo, representado pelo programa WhAEM2000 (*Wellhead Analytic Element Model*), de domínio público, disponibilizado pela EPA (*Environmental Protection Agency of USA*) (Kraemer *et al.*, 2007), é um pouco mais sofisticado. O WhAEM2000 é uma ferramenta de hidrogeologia baseada em técnica de modelagem de elementos analíticos, com utilização de interface gráfica de padrão Windows. O modo *Simple WHPA* contido no programa estima raios centrados ou descentralizados em torno do poço, ou desenha linhas de fluxo com base no tempo de trânsito requerido. Para utilizá-lo, é necessário carregar o programa pelo site do EPA (<http://www.epa.gov>) e seguir as instruções para instalação. Neste caso, a modelagem exige um pouco mais de conhecimento técnico.

De acordo com Carvalho & Hirata (2012), estudo comparativo entre os métodos de determinação de perímetros de proteção de poços aplicados nos diferentes aquíferos do Estado de São Paulo, como raio fixo calculado, modelo analítico com uso da equação de fluxo uniforme e modelo numérico de simulação de fluxo mostraram resultados diferentes. Os dois primeiros métodos definiram tamanhos de zonas de contribuição semelhantes, porém com formatos diferentes, e aproximadamente 200% maiores do que aqueles definidos com o método numérico para as mesmas condições hidrogeológicas. Segundo os referidos autores, a utilização do método analítico é viável e sua acurácia é superior ao Método do Raio Fixo Calculado.

Para determinação do perímetro de proteção sanitária de poços perfurados em áreas de afloramento do SAG recomenda-se delinear um raio fixo de 10 metros a partir do centro do poço, cercado e protegido por telas de arame. O ponto de captação deverá ser dotado de laje de proteção sanitária para evitar a penetração de poluentes. A laje deverá ser de concreto armado, fundida no local, e envolverá o tubo de revestimento sanitário; terá declividade do centro para as bordas, espessura mínima de 15 cm e área não inferior a 3  $m^2$ . Estas dimensões para o perímetro imediato de proteção vêm sendo exigidas para poços outorgados no Estado de São Paulo, com base na Instrução Técnica DPO nº 06, que define procedimentos para usos de recursos hídricos subterrâneos através de captações feitas em poços escavados (cacimbas e cisternas) e ponteiras, para qualquer finalidade de uso.

O perímetro de alerta é definido pelo tempo de trânsito que um contaminante advectivo leva para atingir o poço. Como pode ser observado no Quadro 2.3, os critérios para delineamento dos perímetros são bastante diferentes nos diversos países listados. Considerando a facilidade de uso em razão de pequena quantidade de parâmetros que devem ser conhecidos para estimativa do perímetro, o Método Volumétrico (RFC) é o mais interessante para se aplicado no SAG aflorante e em outros aquíferos livres.

**QUADRO 2.3 - PERÍMETROS DE PROTEÇÃO UTILIZADOS EM DIFERENTES PAÍSES (NAVARRETE & GARCÍA, 2003, APUD IRITANI & EZAKI, 2010)**

<i>País</i>	<i>Perímetros de proteção</i>			
Alemanha	Zona I Raio de 20 m	Zona II Tempo de trânsito de 50 dias	Zona III A Distância de 2 km	Zona III B Zona de Captura
França	Perímetro Imediato 10 a 20 m	Perímetro Próximo 1 a 10 hectares ou 50 dias de tempo de trânsito	Perímetro Afastado 0,2 a 15 km ou critério técnico	-
Reino Unido	Zona I - Proteção interior 50 m ou 50 dias de tempo de trânsito	Zona II – Proteção exterior 25% da ZC ou 400 dias de tempo de trânsito	Zona III - Captação Total Zona de Captura	Zona Z de Proteção Especial Área fora da ZC, mas que pode transmitir contaminação ao poço
Holanda	Área de Captação 50 ou 60 dias de tempo de trânsito	Área de Proteção I 10 anos de tempo de trânsito	Área de Proteção II 25 anos de tempo de trânsito	Área de Recarga 50 a 100 anos de tempo de trânsito
Itália	Zona de Proteção Absoluta Mínimo de 10 m	Zona de Repeito Mínimo de 200 metros	Zona de Proteção Zona de Captura e da Bacia	-
Estado de São Paulo - Decreto nº 32.955/91	Perímetro Imediato de Proteção Sanitária (PIPS) Raio da 10 m	Perímetro de Alerta (PA) 50 dias de tempo de trânsito	-	-

O Método Volumétrico – RFC (Equação 2.4) necessita do conhecimento ou estimativa de quatro parâmetros básicos para delimitação do perímetro de proteção de poços: vazão do poço, tempo de trânsito do contaminante advectivo, porosidade efetiva e espessura saturada aquífero.

Em termos litoestratigráficos, o SAG na área piloto de São Gabriel do Oeste é composto pelas formações Pirambóia e Botucatu. Essas rochas compõem unidades hidroestratigráficas bem definidas, todavia, ainda não devidamente caracterizadas em termos de espessuras, condutividades hidráulicas e porosidades efetivas.

Assim, para aplicação da formulação do RFC e delimitação do perímetro de proteção de poços de abastecimento, as características das unidades hidroestratigráficas devem ser estimadas com base em conhecimento local ou em parâmetros físicos e hidrodinâmicos regionais, discutidos na literatura (Quadro 2.4). As outras variáveis que influem diretamente na extensão do perímetro de proteção são a vazão e o tempo de trânsito para chegada de um contaminante no poço. Observa-se que Incrementos no período de bombeamento, na vazão e no tempo de trânsito aumentam o raio do perímetro, enquanto incrementos de porosidade efetiva e de espessura saturada diminuem o raio do perímetro de proteção.

**QUADRO 2.4 - PRINCIPAIS PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS DO SAG (OEA, 2009)**

Parâmetro		SAG - São Paulo (Fonte: SRACEK & HIRATA, 2002)	SAG - Bacia do Paraná (Fonte: ARAÚJO et al., 1999)		SAG - Uruguai (Fonte: OLEAGA & de los SANTOS, 2005)
			Fm. Botucatu	Fm. Pirambóia	
Espessura (m)	Máxima	550	4 – 484	25 – 770	–
	Média	268	138	139	
Porosidade		10 – 15%	17 – 30%	14 – 24%	–
Condutividade Hidráulica média (m/dia)		12,96	8,7	1,9	–
Trasmisividade (m <sup>2</sup> /dia)		39 – 1035 Média 336	2,4 – 552	–	67 - 198
Coeficiente de Armazenamento		$4 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-4}$	–	–	$7,3 \times 10^{-5} - 7,4 \times 10^{-4}$

Para estimativa de perímetros de proteção de poços perfurados nas diversas unidades hidroestratigráficas componentes do SAG, considerou-se um tempo de trânsito equivalente a 365 dias como suficiente para a tomada de decisões em caso de contaminação do aquífero. Assim, a equação volumétrica terá como variáveis, em qualquer ponto do terreno, a vazão do poço, a espessura saturada e a porosidade efetiva do aquífero, de modo que:

$$R = \sqrt{\frac{Qt}{\eta e \pi H}} = \sqrt{\frac{Q^* 365}{\eta e \pi H}} \quad (\text{Equação 2.12})$$

Onde: Q= vazão do poço (m<sup>3</sup>/d); H= espessura saturada (m);  $\eta_e$ = porosidade efetiva e t= 365 dias.

Exemplos de perímetros de proteção de poços, calculados pelo método do RFC para as unidades hidroestratigráficas componentes do SAG na região de estudo são apresentados no Quadro 2.5, a título de ilustração. Recomenda-se fortemente aos gestores a aplicação da formulação com emprego de parâmetros obtidos no local, com vistas à definição de perímetros mais adequados às condições de São Gabriel do Oeste.

**QUADRO 2.5 - EXEMPLOS DE CÁLCULOS DO PERÍMETRO DE PROTEÇÃO DE POÇOS (PPP) PARA AS DIVERSAS CONDIÇÕES REGIONAIS DO SAG NO COMPARTIMENTO NOROESTE**

Exemplos de cálculos de perímetros de proteção de poços					
Unidades hidroestratigráficas	$\eta_e$ (%)	t(d)	H (m)	Q (m <sup>3</sup> /d)	Perímetro - R (m)
Botucatu	0,20	365	100	2000	107,8
Pirambóia	0,15	365	200	2000	88,0

---

## **2.6 DIRETRIZES PARA ELABORAÇÃO DE NORMAS PARA PROTEÇÃO DO SAG NA ÁREA PILOTO DE SÃO GABRIEL DO OESTE**

---

O presente item tem por objetivo indicar, inicialmente, as bases legais e conceituais no que se refere à legislação vigente estado de Mato Grosso do Sul sobre as águas subterrâneas. Em sequência, será apresentada uma proposta de diretrizes para formulação de normas estaduais, visando à proteção das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani (SAG), que não se limitarão aos recursos hídricos, mas irão abranger também o licenciamento ambiental, as Unidades de Conservação e as normas municipais de uso e ocupação do solo.

Cabe salientar que os recursos hídricos (águas superficiais e subterrâneas) constituem um dos recursos ambientais, conforme disposto no art. 3º inciso V, da Lei nº 6.938/1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. A sua importância, como bem essencial à vida, ao desenvolvimento econômico e ao bem-estar social enseja a elaboração de uma legislação específica sobre o tema, adequada às suas características, e suficiente para fundamentar uma gestão compatível com sua proteção.

### **2.6.1 Legislação do Estado de Mato Grosso do Sul (MS)**

A Lei nº 2.406/2002<sup>5</sup>, seguindo basicamente os mesmos princípios e diretrizes estabelecidas na Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997), instituiu a Política Estadual e o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos no Estado de Mato Grosso do Sul. A integração da gestão das bacias hidrográficas com todos os processos do ciclo hidrológico, envolvendo as águas superficiais e subterrâneas em seus aspectos de qualidade e quantidade, constitui uma das diretrizes dessa política, nos termos do art. 4º, II.

A lei em tela trata dos programas de gestão de águas subterrâneas, compreendendo a pesquisa, o planejamento e o monitoramento, aspectos que compõem o leque de ações previstas no Plano Estadual dos Recursos Hídricos, cujo objetivo é fundamentar e orientar a implementação da Política Estadual dos recursos hídricos.

A extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo está sujeita à outorga pela entidade competente e perfurar poços para extração de água subterrânea ou operá-los sem a devida autorização constitui infração das normas de utilização dos recursos hídricos superficiais ou subterrâneos, nos termos do art. 48. O tamponamento dos poços de extração de águas subterrâneas constitui uma das penalidades previstas no art. 50.

O cadastramento de usuários de recursos hídricos superficiais e subterrâneos no âmbito do Estado de Mato Grosso do Sul é objeto do Decreto Estadual nº 13.397/2012, regulamentado pela Resolução do Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul (IMASUL) nº 05/2012,

---

<sup>5</sup> A constitucionalidade dos arts. 20 §1º, 23 § 1º a 3º e 24, da Lei Estadual nº 2.406/2002 está sendo discutida no STF, por meio da ADI 5025/2013.

que estabelece os procedimentos para o cadastramento de usuários de recursos hídricos superficiais e subterrâneos.\

No que se refere aos poços tubulares, a Resolução da Secretaria de Estado de Meio Ambiente, do Planejamento, da Ciência e Tecnologia (SEMACE) nº 08/2009, alterada pelas Resoluções SEMACE nº 17/2009, 06/2012 e 01/2014, dispõe sobre o licenciamento ambiental de poços tubulares profundos para captação de água, assim considerados aqueles oriundos de obras de hidrogeologia de acesso a um ou mais aquíferos, para captação de água subterrânea executadas com sonda perfuratriz.

A citada resolução dispensa da autorização as demais formas de captação de água subterrânea, a exemplo de poços de grandes diâmetros escavados manualmente, da captação de água subterrânea através de poço tubular com profundidade inferior a 50 m e diâmetro inferior a 4 polegadas e dos poços de monitoramento.

Essa dispensa, entretanto, não exime o proprietário do poço e o técnico responsável pela implantação do sistema de captação, da responsabilidade por danos ambientais decorrentes das intervenções realizadas com vistas à captação de água e nem de outras obrigações legais decorrentes da atividade de captação, a exemplo da vedação de interligação de poços à instalação hidráulica predial que esteja ligada à rede pública de abastecimento de água que trata o art. 45 da Lei nº 11.445/2007.

A Lei Estadual nº 3.183/2006 dispõe sobre a administração, a proteção e a conservação das águas subterrâneas de domínio do Estado e dá outras providências, conceituando águas subterrâneas como as águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo, susceptíveis de extração e utilização pelo homem<sup>6</sup>.

Assim como a Política Estadual de Recursos Hídricos, a Lei nº 3.183/2006 considera, para sua aplicação, a interconexão hidráulica existente entre as águas subterrâneas e as superficiais, condicionada à evolução temporal do ciclo hidrológico.<sup>7</sup>

Nos termos de seu art. 6º, é considerada poluição qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas das águas subterrâneas que possa ocasionar prejuízos à saúde, à segurança e ao bem-estar da população e comprometer o seu uso para fins de abastecimento humano e outros.

A Lei nº 3.183/2006 é bastante abrangente ao tratar sobre a proteção das águas subterrâneas. Em relação ao licenciamento ambiental, estabelece a norma que os projetos de implantação ou ampliação de empreendimentos de alto risco ambiental, tais como pólos petroquímicos, carboquímicos, cloroquímicos e radiológicos, ou qualquer outra fonte potencial de contaminação das águas subterrâneas que tragam periculosidade e risco para a saúde do público em geral, deverão conter caracterização detalhada da hidrogeologia local, incluindo

<sup>6</sup> Lei Estadual nº 3.183/2006, art. 1º, § 1º.

<sup>7</sup> Lei Estadual nº 3.183/2006, art. 2º.

avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos potencialmente afetados, assim como proposta para as medidas de proteção e controle a serem adotadas<sup>8</sup>

Já em relação à outorga, a referida lei estabelece que a implantação ou ampliação de empreendimentos consumidores de elevados volumes de águas subterrâneas, classificados ambientalmente como empreendimentos de grande porte e/ou de potencial poluidor, depende da apresentação, para avaliação da Secretaria de Meio Ambiente, Planejamento e Ciência e Tecnologia (SEMAC), estudos hidrogeológicos das disponibilidades hídricas e do não-comprometimento do aquífero a ser explorado<sup>9</sup>.

Além disso, em relação às áreas com depósitos de resíduos construídos no solo e com efluentes perigosos estabelece a lei que as mesmas serão dotadas de sistema de monitoramento das águas subterrâneas, a cargo do responsável pelo empreendimento, executado conforme plano aprovado pela SEMAC<sup>10</sup>.

Se mesmo com esses procedimentos ainda for comprovada alteração dos parâmetros naturais da qualidade da água subterrânea, o responsável pelo empreendimento é obrigado a executar os trabalhos necessários para sua recuperação, ficando sujeito às sanções cabíveis<sup>11</sup>.

Ainda sobre a proteção dos aquíferos, a lei em questão estabelece que quando houver interesse da conservação, proteção ou manutenção do equilíbrio natural das águas subterrâneas, ou ainda quando houver interesse dos serviços públicos de abastecimento de água ou também por motivos geológicos, geotécnicos ou ecológicos poderão ser instituídas áreas de proteção e controle. A principal função dessas áreas é restringir a captação e o uso dessas águas, estabelecer as distâncias mínimas entre poços entre outros<sup>12</sup>.

Nesse sentido, são estabelecidas duas categorias de áreas de proteção:

- ✓ Área de Proteção Máxima: compreendendo, no todo ou em parte, zonas de recarga de aquífero altamente vulnerável à poluição e que se constituem em depósitos de águas essenciais para abastecimento público ou para suprir atividades consideradas prioritárias pelos Comitês de Bacia ou, na sua ausência, pela SEMAC. Nessas áreas não são permitidas as atividades de implantação de indústrias de alto risco ambiental, as atividades agrícolas que utilizem produtos tóxicos de grande mobilidade no solo e que possam colocar em risco as águas subterrâneas, e o parcelamento do solo em unidades inferiores a 2.500 m<sup>2</sup><sup>13</sup>.
- ✓ Área de Restrição e Controle: caracterizada pela necessidade de disciplinamento das extrações, controle máximo das fontes poluidoras já implantadas e restrição a novas atividades potencialmente poluidoras.<sup>14</sup>

<sup>8</sup> Lei Estadual nº 3.1.83/2006, art. 7º.

<sup>9</sup> Lei Estadual nº 3.1.83/2006, art. 8º.

<sup>10</sup> Lei Estadual nº 3.1.83/2006, art. 9º.

<sup>11</sup> Lei Estadual nº 3.1.83/2006, art. 11º.

<sup>12</sup> Lei Estadual nº 3.183/2006, art. 12.

<sup>13</sup> Lei Estadual nº 3.183/2006, art. 14.

<sup>14</sup> Lei Estadual nº 3.183/2006, art. 13.



A lei estabelece que nos casos de escassez de água subterrânea nas áreas de proteção máxima, a SEMAC poderá proibir novas captações, restringir e regular as captações já existentes, controlar as fontes de poluição e restringir novas atividades potencialmente poluidoras. Deve-se ter em mente que no caso de restrição, serão atendidas prioritariamente as captações destinadas ao abastecimento público de água<sup>15</sup>. Por último, a lei ainda menciona que nas áreas de proteção de poços e de outras captações, serão instituídos perímetros de proteção sanitária e de alerta contra a poluição<sup>16</sup>.

No Estado do Mato Grosso do Sul cabe a SEMA fiscalizar o cumprimento das disposições previstas nesta Lei nº, seu regulamento e normas decorrentes<sup>17</sup>.

A Lei nº 3.183/2006 institui ainda instrumentos para a proteção das águas, determinando nos arts. 26 a 28 as infrações e sanções a que estão sujeitos os usos em desconformidade com a proteção das águas subterrâneas.

Diante do acima exposto, verifica-se que a legislação sobre recursos hídricos do Estado de Mato Grosso do Sul trata de forma bastante abrangente sobre as águas subterrâneas, estabelecendo mecanismos de proteção das mesmas, bem como fornecendo uma base legislativa bastante completa para que essa proteção seja efetivada.

Na legislação ambiental estadual consultada não foram encontradas referências diretas ou específicas relacionadas à proteção e conservação das águas subterrâneas. Entretanto, o arcabouço legal de recursos hídricos supre parte desta lacuna, por meio da Lei nº 3.183/2006, que estabelece normas para projetos de implantação ou ampliação de empreendimentos de alto risco ambiental.

### **2.6.2 Diretrizes Propostas**

A partir do levantamento e análise da legislação em vigor acerca das águas subterrâneas, seja no campo das normas gerais (Lei nº 9.433/1997), seja no que se refere às leis e outras normas estaduais, o presente item tem por objetivo traçar diretrizes para a elaboração de normas específicas ao Estado do Mato Grosso do Sul e aos Municípios inseridos na área piloto em estudo, com vistas a garantir a proteção do Sistema Aquífero Guarani.

As diretrizes ora propostas referem-se à proteção efetiva do SAG, questão relativa à segurança hídrica para as presentes e futuras gerações. As águas subterrâneas, recurso ainda relativamente desconhecido, possuem um enorme potencial para garantir o abastecimento hídrico em qualidade e em quantidades adequadas para o consumo humano. Portanto esse recurso pode, e deve, ser utilizado. Mas essa utilização deve ser realizada de forma planejada e articulada entre os estados que compartilham o SAG, de forma a garantir sua sustentabilidade. Daí a importância de sua proteção, objeto das diretrizes ora propostas.

<sup>15</sup> Lei Estadual nº 3.183/2006, art. 15.

<sup>16</sup> Lei Estadual nº 3.183/2006, art. 16.

<sup>17</sup> Lei Estadual nº 3.183/2006, art. 25.

Para tanto, as diretrizes não se limitam aos recursos hídricos, mas abrangem outros instrumentos de gestão ambiental relacionados com as águas, de interesse às áreas de afloramento do SAG na área piloto de São Gabriel do Oeste, como o licenciamento ambiental, a criação e implementação de Unidades de Conservação (UC) e áreas de proteção de mananciais, os instrumentos econômicos como o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), as normas municipais de uso e ocupação do solo etc., conforme será detalhado a seguir.

#### **a) Implementação de Unidades de Conservação (UC) nas áreas de afloramento do SAG**

A Lei nº 9.985/2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), prevê que os três entes federativos – União, Estados e Municípios – possuem competência para a criação de Unidades de Conservação, sendo que um dos seus objetivos é proteger e recuperar os recursos hídricos e edáficos<sup>18</sup>.

As Unidades de Conservação (UC) devem dispor de um Plano de Manejo<sup>19</sup>, assim entendido o documento técnico mediante o qual, com fundamento nos objetivos gerais de uma unidade de conservação, se estabelece o seu zoneamento e as normas que devem presidir o uso da área e o manejo dos recursos naturais, inclusive a implantação das estruturas físicas necessárias à gestão da unidade<sup>20</sup>.

Há que considerar a importância dos Planos de Manejo na efetividade da proteção estabelecida em um território, quando da criação de uma Unidade de Conservação. Nas áreas de incidência do SAG, é necessário que tais Planos contenham regras específicas para as águas subterrâneas, com vistas a garantir que os objetivos de proteção sejam alcançados também para elas, o que deve constar do próprio zoneamento da UC.

A criação de novas Unidades de Conservação, como por exemplo, Área de Proteção Ambiental (APA), tal como proposto por este estudo, tem por finalidade garantir maior proteção às áreas de proteção do SAG.

A diretriz ora proposta é no sentido de que as normas instituidoras das Unidades de Conservação contenham dispositivo enfatizando a necessidade de se considerar a incidência das águas subterrâneas no Plano de Manejo da Unidade, ainda que a finalidade da criação do espaço protegido não seja necessariamente essa.

A lei estabelece que o Plano de Manejo de uma Unidade de Conservação deve ser elaborado no prazo de cinco anos a partir da data de sua criação<sup>21</sup>. Há inúmeros casos em que esse prazo não é observado, o que prejudica que se atinjam os objetivos da proteção territorial.

Sem um Plano de Manejo, as ações atinentes a uma proteção mais efetiva das águas subterrâneas podem deixar de ocorrer, ou seja, se a finalidade da criação da UC não for

<sup>18</sup> Lei nº 9.985/2000, art. 4º, VIII.

<sup>19</sup> Lei nº 9.985/2000, art. 27.

<sup>20</sup> Lei nº 9.985/2000, art. 2º, XVII.

<sup>21</sup> Lei nº 9.985/2000, art. 27, § 3º.

exatamente a proteção das águas subterrâneas, apenas quando for elaborado o Plano de Manejo é que terá início o conjunto de ações voltadas à proteção do SAG.

Releva notar que devem ser cumpridos à risca todos os procedimentos relativos à formulação desses Planos, de acordo com a sua categoria e o disposto na Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), como por exemplo a participação social, sob pena de anulação dos atos e prejuízo às finalidades de proteção dos recursos ambientais, e particularmente, das águas subterrâneas.

**Diretriz: As normas criadoras das Unidades de Conservação municipais devem conter regras específicas para a proteção das águas subterrâneas. Para as UC que não possuem Plano de Manejo por motivo de atraso, a diretriz consiste na edição de decretos federais, estaduais ou municipais, de acordo com o ente federativo que as criou, determinando o início imediato do processo de elaboração dos Planos de Manejo para as Unidades de Conservação criadas há mais de cinco anos, e, portanto em atraso no cumprimento da lei.**

#### ***b) Proteção de Mananciais***

Considerando que as águas subterrâneas são mananciais estratégicos em função de sua qualidade, cabe propor mecanismos de uso e ocupação do solo, com vistas a essa proteção. O exemplo que se pode utilizar é o modelo da Lei nº 9.866/1997 do Estado de São Paulo.

Não se discute a competência do município para ordenar o uso e a ocupação do solo. Mas a realidade da poluição e contaminação dos mananciais tampouco pode ser desconsiderada. E se o município é competente para promover o ordenamento do uso e da ocupação do solo, não está autorizado a estabelecer normas inadequadas cuja aplicação permita, mesmo que indiretamente, impactos negativos aos mananciais que constituem Áreas de Proteção e Recuperação (APRM), e que extrapolam os limites geográficos de um único Município.

Releva notar que essa questão pode e deve ser conduzida de modo a evitar a judicialização, saindo da esfera jurídico-constitucional para uma seara da negociação e articulação institucional, (pacto federativo). Assim, Estado e Municípios devem organizar, em conjunto, as regras que serão adotadas por parte de cada Município, sob a coordenação do Estado, responsável pelas águas subterrâneas, no uso e ocupação do solo municipal, com o objetivo de garantir a qualidade das águas subterrâneas. Assim, a legislação estadual estabelecerá as diretrizes para a elaboração de leis municipais de uso e ocupação do solo, o que não gera conflito de competência entre esses entes.

**Diretriz: Incluir na legislação do Estado do Mato Grosso do Sul normas específicas sobre a proteção de mananciais subterrâneos (ordenação do uso e ocupação do solo), para orientar a ocupação das áreas de afloramento do SAG.**

#### ***c) Licenciamento ambiental (1)***

O processo administrativo de licenciamento ambiental é regido pela Lei Complementar (LC) nº 140/2011, que alterou a regra de competência para o licenciamento fixada na Lei nº 6.938/81,

tendo substituído a redação do art. 10 da seguinte forma: *a construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental dependerão de prévio licenciamento ambiental.*<sup>22</sup>

Ou seja, a LC nº 140/2011 retirou dos Estados a prioridade para o licenciamento ambiental, tarefa que passou a ser distribuída entre a União, os Estados, Distrito Federal e os municípios, ficando claro que esse procedimento pode ser realizado por um único ente federativo.

No presente caso, a questão refere-se ao licenciamento de atividades em áreas de incidência do SAG. Conforme já mencionado, os municípios podem assumir a competência do licenciamento nessas áreas. Nos termos do art. 9º, XIV, da referida lei, cabe aos municípios promover o licenciamento ambiental das atividades ou empreendimentos: que causem ou possam causar impacto ambiental de âmbito local, conforme tipologia definida pelos respectivos Conselhos Estaduais de Meio Ambiente, considerados os critérios de porte, potencial poluidor e natureza da atividade; ou localizados em Unidades de Conservação instituídas pelo município, exceto em Áreas de Proteção Ambiental (APAs).

De acordo com o disposto no art. 8º, XIV da LC nº 140/2011, cabe aos Estados promover o licenciamento ambiental de atividades ou empreendimentos utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, ressalvada competência da União e dos municípios. Entende-se, pois, que quem determina o interesse local do Município para assumir um licenciamento é o Conselho Estadual do Meio Ambiente, considerando os critérios de porte, potencial poluidor e a natureza da atividade.

**Diretriz: Sendo os Municípios os entes responsáveis pelo licenciamento de empreendimentos, aplicam-se as normas estaduais de meio ambiente e proteção das águas subterrâneas, que devem conter regras específicas para a concessão das licenças, condicionando-as aos necessários cuidados que devem ser tomados nessas áreas. Em se tratando de áreas de afloramento do SAG de alta ou extrema vulnerabilidade devem ser propostos critérios técnicos padronizados e normatizados que indiquem medidas preventivas para a proteção do SAG.**

#### **d) Pagamento por Serviços Ambientais (PSA)**

Os mecanismos de comando – controle, fixados nas políticas ambientais, em que pese sua relevância, são insuficientes para assegurar a efetividade das normas. Nessa linha, surgem os instrumentos econômicos, cuja lógica é induzir comportamentos ambientalmente adequados, porém de forma voluntária. O PSA é um dos instrumentos econômicos previstos em políticas

<sup>22</sup> Antes da referida alteração, o art. 10 da Lei nº 6.938/81 assim dispunha: A construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, considerados efetiva e potencialmente poluidores, bem como os capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento de órgão estadual competente, integrante do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA, e do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, em caráter supletivo, sem prejuízo de outras licenças exigíveis. (Redação dada pela Lei nº 7.804/1989)

ambientais e de recursos hídricos que vem mostrando eficiência, tendo em vista que os benefícios obtidos extrapolam os limites territoriais das propriedades envolvidas nos projetos.

**Diretriz: Estabelecer mecanismos jurídicos de remuneração aos proprietários das áreas de incidência do SAG para que sejam adotadas práticas ambientalmente adequadas, com vistas à proteção das águas subterrâneas.**

***e) Uso e ocupação do solo***

Conforme determina a CF/88, cabe aos municípios promover, no que couber, adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso do solo, do parcelamento e da ocupação do solo urbano<sup>23</sup>. No exercício dessa atribuição, todavia, não se pode ignorar que o uso e a ocupação do solo são fatores determinantes da qualidade ou da degradação dos recursos naturais, em que se incluem os recursos hídricos e as águas subterrâneas de modo especial.

As normas municipais destinadas a estabelecer as regras de uso do solo, urbano e rural, desde o Plano Diretor, até as leis de zoneamento, devem considerar a importância da proteção das áreas de afloramento de aquíferos porosos, em especial do SAG. E todo o ordenamento do solo deve ser efetuado levando-se em conta essa preocupação. Dessa forma, é necessário que, no planejamento do uso e ocupação da terra, e mesmo na fiscalização de usos, os mapas de vulnerabilidade do SAG sejam utilizados como instrumentos para promover a proteção. Essa questão é relevante para os municípios, na medida em que as águas subterrâneas constituem manancial que pode ser utilizado para o abastecimento público.

No que se refere ao universo das normas jurídicas, há que considerar que os municípios, como entes federativos autônomos, não se submetem à legislação estadual que interfira no uso do solo municipal. Todavia, uma norma estadual pode indicar fontes de financiamento e cooperação técnica para a melhoria da qualidade ambiental, especialmente destinadas aos municípios que contiverem, em suas normas de uso e ocupação do solo, dispositivos relativos à proteção de aquíferos, inclusive a observância dos mapas de vulnerabilidade.

Um exemplo dessa sistemática, em relação à União e os Estados, pode ser encontrado na Lei nº 12.305/2012, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Em seu art. 18, a citada lei estabelece que a elaboração de plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos, nos termos previstos por esta Lei, é condição para o Distrito Federal e os Municípios terem acesso a recursos da União, ou por ela controlados, destinados a empreendimentos e serviços relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos, ou para serem beneficiados por incentivos ou financiamentos de entidades federais de crédito ou fomento para tal finalidade.

---

<sup>23</sup> CF/88, art. 30, VIII.

A aplicação de instrumentos econômicos, como é o caso da isenção de IPTU para fomentar a permeabilização do solo nas áreas urbanas, é um mecanismo plausível para garantir a proteção das águas subterrâneas e a recarga dos aquíferos.

**Diretriz: Elaboração de norma estadual, condicionando o apoio aos municípios de São Gabriel do Oeste, Camapuã e Rio Verde do Mato Grosso, seja pela cooperação técnica, seja para o acesso a linhas de financiamento estaduais, à adoção de normas municipais de proteção aos aquíferos, com base nos mapas de vulnerabilidade do SAG, no que se refere ao uso e ocupação do solo e efetiva implementação, de forma a assegurar a proteção das áreas.**

**f) Selo Verde**

Ainda no que se refere ao fato de que o Estado pode incentivar, através de fontes de financiamento e cooperação técnica, a melhoria da qualidade ambiental dos municípios, poder-se-ia adotar a atribuição de *selo verde* àqueles que adotarem, em suas normas, práticas relativas à proteção de aquíferos, inclusive a observância dos mapas de vulnerabilidade, promovendo assim uma imagem positiva, reforçando a necessidade de atendimento aos padrões de proteção às águas subterrâneas estabelecidos pelo Estado.

**Diretriz: Elaboração de norma estadual atribuindo selo verde aos municípios inseridos na área piloto de São Gabriel do Oeste que adotarem, em suas normas municipais, medidas de proteção aos aquíferos.**

**g) Planos de Saneamento Básico Municipais**

A Lei Federal nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007, estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, envolvendo as atividades de elaboração dos Planos de Saneamento Básico Municipais, tendo como referência, também, as diretrizes sugeridas pelo Ministério das Cidades, através do Guia para Elaboração de Planos Municipais de Saneamento, de 2011, quais sejam:

- ✓ Integração de diferentes componentes da área de Saneamento Ambiental e outras que se fizerem pertinentes;
- ✓ Promoção do protagonismo social a partir da criação de canais de acesso à informação e à participação, que possibilitem a conscientização e a autogestão da população;
- ✓ Promoção da saúde pública;
- ✓ Promoção da educação sanitária e ambiental, visando à construção da consciência individual e coletiva e de uma relação mais harmônica entre o homem e o ambiente;
- ✓ Orientação pela bacia hidrográfica;
- ✓ Sustentabilidade;
- ✓ Proteção ambiental;
- ✓ Inovação tecnológica.

Os Planos de Saneamento envolvem o abastecimento de água, o esgotamento sanitário, os resíduos sólidos e a drenagem urbana, oferecendo potencial para que sejam previstas ações específicas para proteção das águas subterrâneas, como por exemplo: universalização dos serviços de esgotamento sanitário; implantação de Estações de Tratamento de Esgotos prevendo local do lançamento dos efluentes distante das áreas de proteção do SAG; desativação de lixões e escolha de locais para implantação de aterros sanitários afastados das áreas de afloramento e das áreas de proteção do SAG.

**Diretriz: Elaboração de norma municipal recomendando cuidados específicos para proteção das águas subterrâneas no âmbito dos Planos de Saneamento.**

### 3. CONCLUSÕES

Os estudos realizados na área piloto de São Gabriel do Oeste (MS) permitiram avaliar a vulnerabilidade natural à contaminação e o perigo de contaminação associado às atividades antrópicas urbanas e rurais, de modo a estabelecer uma base técnica para o planejamento das ações e medidas de proteção e controle das águas subterrâneas do SAG, constituindo uma referência de apoio à decisão para os órgãos gestores estaduais.

O mapeamento geológico do SAG na escala 1:50.000 da área piloto foi pioneiro e revelou aspectos interessantes, desconhecidos da comunidade científica. Foi reconhecida pela primeira vez a presença da Formação Estrada Nova (Permiano Superior) em afloramentos nesta região. Na porção oeste da área, a Formação Aquidauana havia sido confundida com a Formação Botucatu. Foram reconhecidas e caracterizadas as formações Botucatu e Pirambóia, constituintes do SAG, todavia a não observação dos contatos de topo e basal em campo não permitiu uma estimativa de espessura dessas unidades. Os derrames basálticos da Formação Serra Geral ocorrem em uma faixa restrita a bordo leste do chapadão do São Gabriel do Oeste, não tendo sido identificados nas regiões noroeste e oeste do mesmo. A cobertura cenozoica recobre indistintamente sedimentos das formações Aquidauana, Estrada Nova, Serra Geral e Botucatu. A conformação estrutural das unidades litoestratigráficas mapeadas sugere um homoclinal inclinado para o eixo da bacia, todavia, a carência de informações de subsuperfície, como por exemplo, perfis geofísicos, ainda não permite conclusões definitivas.

A paisagem nessa área apresenta certa homogeneidade, com predomínio marcante das áreas de campo/pastagem, cerrado e culturas anuais (soja, milho e sorgo). Os insumos agrícolas utilizados nas plantações são uma fonte potencial de poluentes que deve ser controlada. A suinocultura também é reconhecidamente uma atividade de grande potencial poluidor, todavia, a transformação de excrementos em biogás, utilizado para gerar energia, e em adubo orgânico, após seu tratamento, representa um modelo de sustentabilidade.

Foram identificados 211 empreendimentos potencialmente contaminantes de recursos ambientais, com base no Cadastro Técnico Federal do IBAMA, nos três municípios inseridos total ou parcialmente na área piloto de São Gabriel do Oeste. Dos 211 empreendimentos, as classes de indústria química (127), extração e tratamento de minerais (48), transporte, terminais, depósitos e comércio (14) e indústria de madeira (13) ocorrem em maior número.

A investigação geofísica de superfície realizada na área piloto de São Gabriel do Oeste (MS) utilizou as técnicas de Sondagem Elétrica Vertical e Imageamento Elétrico 2D. As técnicas forneceram dados sobre nível d'água, resistividades dos níveis geoeletricos interpretados, associadas à litologia provável do local estudado (eletrofácies), espessuras das camadas, profundidades do topo de estratos geoeletricos e cotas de topo de estratos geoeletricos. As interpretações de dados geofísicos mostraram a existência de camada de elevada resistividade na base da maioria das sondagens elétricas verticais, correspondendo a corpos de diabásio.

As análises geofísicas identificaram as unidades Botucatu (geralmente mais resistiva) e Pirambóia (geralmente menos resistiva), porém não distinguiram a superfície basal do SAG, constituída normalmente pela Formação Estrada Nova, impedindo o delineamento de seu contorno estrutural e a determinação das variações de espessura do aquífero. Os resultados dos estudos sugeriram que a cobertura cenozoica da chapada de São Gabriel do Oeste, conforme referido anteriormente, estende-se em discordância angular e erosiva (desconformidade) sobre rochas mais antigas, cuja idade aumenta progressivamente no sentido de leste para oeste.

O mapa hidrogeológico da área piloto de São Gabriel do Oeste permite observar claramente uma zona de “não fluxo” no bordo oeste, no limite de ocorrência presumido do SAG, em subsuperfície. A potenciometria da zona coberta pelos sedimentos cenozoicos e rochas basálticas da Formação Serra Geral mostra fluxos regionais nos sentidos nordeste e sudeste, a partir de um divisor orientado aproximadamente NW-SE. A potenciometria do aquífero livre também mostra fluxos subterrâneos locais governados pelas microbacias hidrográficas, além de um fluxo regional no sentido leste, a partir da chapada, associado às águas mais profundas do SAG, que não interage com os cursos de água superficiais e se dirige à calha do Rio Paraná por sob a cobertura de rochas basálticas da Formação Serra Geral e arenosas do Grupo Bauru, que vai alimentar a zona de confinamento do aquífero. A distribuição de cargas hidráulicas mostra que o aquífero possui comportamento diversificado para diferentes setores, com condições variando de livre a semiconfinado e a confinado.

As águas subterrâneas do SAG do piloto de São Gabriel do Oeste foram classificadas como bicarbonatadas cálcicas e bicarbonatadas sódicas, com condutividades elétricas medianas de 27  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e medianas de pH de 6,4, de baixa concentração iônica. Apenas um único poço apresentou contaminação por chumbo. Quase todas as amostras apresentaram conteúdo bacteriológico positivo para coliformes totais. Não foram constatadas contaminações por fenóis, agroquímicos e nitrato.

A maioria das amostras de água do SAG da área piloto do Mato Grosso do Sul tem composição isotópica próxima à da Linha Meteorica Global (LMG), confirmando sua origem meteorica. Os dados isotópicos de estrôncio permitem concluir que as amostras de água coletadas no piloto de São Gabriel do Oeste (MS) possuem assinaturas isotópicas similares às de águas de chuva, com concentrações muito baixas de estrôncio e baixa condutividade elétrica. A análise de trítio indica águas provenientes de recarga moderna e de mistura entre recarga submoderna e recarga recente.



Com base no método GOD, na área piloto de São Gabriel do Oeste predomina a classe de vulnerabilidade média (69,4%), seguida da alta (25,6%), obedecendo a mesma tendência observada na maioria dos estados onde afloram os sedimentos do SAG.

A aplicação método POSH (*Pollutant Origin, Surcharge Hydraulically*) às atividades identificadas no Cadastro Técnico Federal do IBAMA para classificação das fontes potenciais pontuais de contaminação em função do impacto da atividade econômica exercida indicou o município de Figueirão como apresentando potencial reduzido, o de São Gabriel do Oeste como de potencial moderado e o de Camapuã como de potencial elevado.

Para fontes difusas, o resultado do cruzamento do potencial de carga contaminante associado ao uso da terra com os índices de vulnerabilidade determinados para as áreas aflorantes do SAG gerou uma classificação de perigo de contaminação para a área piloto de São Gabriel do Oeste. As classes de perigo de contaminação “moderado” e “alto” representaram, respectivamente, 44% e 14% da área total, enquanto as áreas não classificadas predominaram com 42% do total.

Observa-se que o caráter regional dos mapas permite sua utilização apenas como instrumento orientativo para a macrogestão, sendo recomendados estudos de detalhe para diagnóstico de áreas com indicadores críticos de contaminação e proposição de medidas de remediação específicas. As avaliações de perigo de contaminação da água subterrânea apresentam um considerável grau de incerteza científica em razão do subjetivismo metodológico empregado e do desconhecimento do comportamento hidráulico dos diferentes estratos geológicos empilhados sucessivamente.

Considerando a distribuição e número de poços amostrados para análise e os resultados dos indicadores hidroquímicos, não há argumentos para a proposição de áreas com necessidade de medidas de controle mais restritivas nas faixas de afloramentos do SAG, na área piloto.

Independentemente do estabelecimento de áreas de proteção, aquíferos aflorantes devem ser sistematicamente monitorados quanto à preservação da qualidade de suas águas para os diversos usos, principalmente abastecimento público. Nesse sentido, legislações e diretrizes específicas devem ser aplicadas pelos órgãos ambientais para controle das práticas agrícolas e uso da terra, além da instalação de empreendimentos industriais em zonas urbanas. O mapeamento do uso da terra evidenciou áreas naturais com cobertura de matas, matas galeria e várzeas pouco impactadas pela atividade antrópica, situadas em zonas de vulnerabilidade média e com dimensões superiores a 10 km<sup>2</sup> como de interesse para indicação como áreas de proteção de aquíferos. A área piloto de São Gabriel do Oeste abrange total ou parcialmente nove regiões potenciais com áreas entre 12 km<sup>2</sup> e 95 km<sup>2</sup>.

Para definição de perímetros de proteção de poços de abastecimento público, mais adequados às condições reais, recomenda-se a aplicação da formulação do RFC (Raio Fixo Calculado) com base em parâmetros hidráulicos obtidos localmente. Para condições gerais, foram estimados perímetros de cerca de 107 metros e 88 metros, respectivamente para poços perfurados nas unidades Botucatu e Pirambóia.

A partir deste estudo e dos mapas de vulnerabilidade e perigo de contaminação elaborados será possível implementar as estratégias propostas que incluem, em síntese, ações e procedimentos específicos para orientar o planejamento regional e local nos territórios dos Estados em que o SAG incide, visando disciplinar o uso e a ocupação do solo nas áreas de afloramento do aquífero, direcionar aspectos da conservação ambiental, além de recomendar ações para o fortalecimento da gestão participativa e normas de proteção do SAG.

Finalmente, o presente estudo disponibilizará um banco de dados georreferenciado que será incorporado ao Sistema de Informações do Sistema Aquífero Guarani (SISAG) do PSAG, no Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), que constitui um dos instrumentos de gestão de recursos hídricos previstos na legislação federal, que por sua vez instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos.

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLER, L; ENNET, T.; LEHER, J. H.; PETTY, R. J & HACKETT, G. 1987. DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeological setting. EPA, Oklahoma, EPA/600/2-87-035, 622 p.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21st ed. Washington.
- BACANI, V.M. 2010. Geotecnologias aplicadas ao ordenamento físico-territorial da bacia do Alto Rio Coxim - MS. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo.
- BARBOSA, M.C.; CARVALHO, A.M.C.; IKEMATSU, P.; ALBUQUERQUE FILHO, J.L.; CAVANI, A.C.M. 2011. Avaliação do perigo de contaminação do sistema aquífero Guarani em sua área de afloramento do Estado de São Paulo decorrente das atividades agrícolas. *Águas Subterrâneas*, v. 25, n.1. p.1-14.
- BARBOSA, R.B.F; GABAS, S.G.; LASTORIA, G; CAVAZZANA, G.H; SOUZA, A. 2010. Determinação do Potencial de lixiviação (Índice LIX) de Herbicidas Empregados em Culturas no Município de São Gabriel do Oeste-MS. XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços.
- BRAGA, A.C.O. 2005. Métodos da eletrorresistividade e polarização induzida aplicados nos estudos da captação e contaminação de águas subterrâneas: uma abordagem metodológica e prática. Tese de Livre Docência. 125 p.
- CARVALHO, A. M. & HIRATA, R. 2012. Avaliação de métodos para a proteção dos poços de abastecimento público do Estado de São Paulo. *Geol. USP, Sér. cient.*, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 5-70.
- CHAVE, P; HOWARD G; SCHIJVEN, J; APPLEYARD, S; FLADERER, F & SCHIMON, W. 2006. Groundwater protection zones. World Health Organization. *Protecting Groundwater for Health: Managing the Quality of Drinking-water Sources*. Edited by O. Schmoll, G. Howard, J. Chilton and I. Chorus. ISBN: 1843390795. Published by IWA Publishing, London, UK. 2007.
- CIVITA, M. 1994. Le carte del la vulnerabilita de gliacquiferia llinquinamento: teoria & prática. Pitagora Editore Bologna, Itália.
- CLARK, I. & FRITZ, P. 1999. *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. Lewis Publishers, 2nd Printing, Boca Raton, Florida, USA.
- COUTINHO, H.L.C.; LEITE, A.S.; PARAÍBA, L.C.; CERDEIRA, A.L.; FILIZOLA, H.F; SILVA, E.F.; GOMES, M.A.F. 2008. Análise espacial do potencial de lixiviação de herbicidas em áreas de afloramento do Aquífero Guarani na alta bacia do Rio Taquari, MS. In: GOMES, M.A. F. (Ed.). *Uso agrícola das áreas de afloramento do Aquífero Guarani no Brasil: implicações para a água subterrânea e propostas de gestão com enfoque*

- agroambiental. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. p. 193-214.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. 2006. Geologia e Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso do Sul. Escala 1:1.000.000. Mapas e texto explicativo. Convênio CPRM-SEPROTUR/MS-EGRHP/MS.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. 2001. Mapa Geológico de Mato Grosso do Sul, escala 1:1.000.000. Brasília.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. 2000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Geologia e Recursos Minerais do Estado de Goiás e do Distrito Federal. Escala 1:500.000. 2ª edição.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. 1997. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. Coord. Feitosa, F. A. C. & Manoel Filho, J. Fortaleza. CPRM-LABHID-UFPE. 412 p.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. 1990. Mapa Geológico de Mato Grosso do Sul, escala 1:500.000. Brasília.
- CRAIG, H. 1961. Isotopic variations in meteoric waters: Science, v. 133, p. 1702–1703.
- CRISPIM, S.M.A.; FERNANDES, F.A.; FERNANDES, A.H.M.; SOARES, M.T.S.; LISITA, F.O.; BRANCO, O.D.; FRANCO, E. 2010. Aplicação de dejetos suínos na produção de Tifton 85 em assentamento rural, São Gabriel do Oeste, MS. Comunicado Técnico 84. ISSN 1981-7231. Embrapa.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. 2005. Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo. DAEE, IGSMA, IPT, CPRM. São Paulo, 119 p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. PROJETO RADAMBRASIL. 1982. Folha SE.21, Corumbá e parte da Folha SE.20: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro. 448p.
- DUBOC, E.; COSTA, C.J.; VELOSO, R.F.; OLIVEIRA, L.S.; PALUDO, A. 2008. Panorama Atual da Produção de Carvão Vegetal no Brasil e no Cerrado, IX Simpósio Nacional Cerrado: Brasília.
- EDWARDS, L.S. 1977. A modified pseudosection for resistivity and induced-polarization. Geophysics, n. 42, p. 1020-1036.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. 2004. Princípios de Agricultura Irrigada: Caracterização e Potencialidades em Mato Grosso do Sul. Dourados: EMBRAPA, 2001. Mapa de Biomas do Brasil, Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/244687/1/DOC37.pdf>.

- EPPNA. 1998. Informação Cartográfica dos Planos de Bacia. Sistematização das Figuras e Cartas a imprimir em papel. Equipa de Projecto do Plano Nacional da Água. Portugal.
- FODOR, R.V., CORWIN, C., SIAL, A.N. 1985. Crustal signatures in Serra Geral flood-basalt province, southern Brazil: O- and Sr-isotope evidence. *Geology*. (13):763-765.
- FORTES, W.G.; SANTOS, T.M.B.; CAPPI, N. 2007. A relação suinocultura e manejo de dejetos: estudo de caso em uma grande região produtora de suínos. Trabalho desenvolvido pelo primeiro autor no Programa de Bolsas de Iniciação Científica – PROPP/UEMS/CNPq.
- FOSTER, S., HIRATA, R., GOMES, D., D’ELIA, M., PARIS, M. 2006. Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. Banco Mundial, Washington. 104 pp.
- FOSTER, S.S.D. 1987. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. In: *Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants*, 38., 1987, Noordwijk. Proceedings and Information of the International Conference held in the Netherlands. Noordwijk: TNO Committee on Hydrological Research. p. 69-86.
- FOSTER, S; HIRATA, R. 1993. Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes. (Tradução de Ricardo Hirata, Sueli Yoshinaga, Seiju Hassuda, Mara Akie Iritani). *Boletim do Instituto Geológico*, n. 10. 92 p.
- FOSTER, S; HIRATA, R; GOMES, D; D’ELIA, M; PARIS, M. 2006. Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. Publicação Servmar – Serviços Técnicos Ambientais Ltda. 114 p.
- FRANCÉS, A.; PERALTA, E.; FERNANDES, C.; RIBEIRO, L. 2001. Development and application in the Alentejo region of a method to assess the vulnerability of groundwater to diffuse agriculture pollution: the susceptibility index. Lisboa, Geosystem Center IST, Third International Conference on Future Groundwater Resources at Risk.
- FULFARO, V. J.; GAMA JUNIOR, E.; SOARES, P. C. 1980. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. São Paulo: Paulipetro, 167 p.
- GASTMANS, D.; VEROSLAVSKY, G.; CHANG, H.K.; CAETANO-CHANG, M.R.; PRESSINOTTI, M.M.P. 2012. Modelo hidrogeológico conceptual del Sistema Acuífero Guaraní (SAG): una herramienta para la gestión). *Boletín Geológico y Minero*, 123 (3): 249-265.
- GAT J.R. 1980. The Isotopes of Hydrogen and Oxygen in Precipitation, in *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*, Vol. 1 (eds. P. Fritz & JCh Fontes), Elsevier, Amsterdam. p. 21-47.

- GILG, H.A., MORTEANI, G., KOSTITSYN, Y., PREINFALK, C., GATTER, I., STRIEDER, A.J. 2003. Genesis of amethyst geodes in basaltic rocks of the Serra Geral Formation (Ametista do Sul, Rio Grande do Sul, Brazil): a fluid inclusion, REE, oxygen, carbon, and Sr isotope study on basalt, quartz, and calcite. *Mineralium Deposita*. (38):1009-1025.
- GOMES, M.A.F. 2008. (Ed.). Uso agrícola das áreas de afloramento do Aquífero Guarani no Brasil: implicações para a água subterrânea e propostas de gestão com enfoque agroambiental. Brasília: EMBRAPA. 417 p.
- GRIFFITHS, D.H.; TURNBULL, J. 1985. A multi-electrode array for resistivity surveying. *First Break*, v. 3, n. 7, p. 16-20.
- GROOT-HEDLIN, C.; CONSTABLE, S. 1990. Occam's inversion to generate smooth two-dimensional models from magnetotelluric data. **Geophysics**, n. 55, p. 1613-1624.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. 2010. Produtos agrotóxicos e afins comercializados em 2009 no Brasil: uma abordagem ambiental Rafaela Maciel Rebelo... [et al]. Brasília: IBAMA, 84 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2013. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura de 2012. Disponível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br).
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2013. Produção Agrícola Municipal. 2011. Disponível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br).
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2012. Produção Agrícola Municipal. Disponível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br).
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Produção Agrícola Municipal de 2012. Disponível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br).
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2011. Atlas de Saneamento. Disponível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br).
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2010. Censo Demográfico. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br).
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2007. Censo Agropecuário 2006. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br).
- INSTITUTO GEOLÓGICO – IG. 1997. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE. Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo. São Paulo: IG/ Cetesb/ DAEE. 2 v. mapas. (Série Documentos).

- INSTITUTO NACIONAL DE PROCESSAMENTO DE EMBALAGENS VAZIAS – INPEV. Localização das Unidades de Recebimento. Disponível em <http://www.inpev.org.br/logistica-reversa/destinacao-das-embalagens/localizacao-das-unidades>.
- INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ – IAP. 2013. Relatório da Situação da Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos no Estado do Paraná. Curitiba. 51p.
- IRITANI, M. A. & EZAKI, S. 2010. Roteiro orientativo para delimitação de área de proteção de poço. Secretaria de Meio Ambiente do Estado São Paulo. Instituto Geológico. Cadernos do Projeto Ambiental Estratégico Aquíferos. São Paulo. n.2, 50 p.
- KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. 2005. Conservation of the Brazilian Cerrado. *Conservation Biology*, vol. 19, p. 707-713.
- KRAEMER, S. R; HAITJEMA, H. M. & KELSON, V. A. 2007. Working with WhAEM2000. Capture Zone Delineation for a City Wellfield in a Valley Fill Glacial Outwash Aquifer Supporting Wellhead Protection. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC 20460.
- KULFS, C. 1980. Rating the hazard potential on waste disposal facilities. En: Nat. Conf. on Management of Uncontrolled Hazardous Waste Sites. Proc. Silver Spring. Hazardous Material Control Research Institute. 30-41 pp.
- LE GRAND, H. E. 1964. System for Evaluation of Contamination Potential of some Waste Disposal Sites, *Journal of the American Water Works Association*, Vol. 56, no. 7, p. 959-974.
- LOKE, M. H. 2001. Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies. A practical guide to 2D and 3D surveys. 62 p.
- LOURENTE, E.R.P; MERCANTE, F.M.; ALOVISI, A.M.T.; GOMES, C.F.; GASPARINI, A. S.; NUNES, C.M. 2011. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 20-28.
- MACHADO, R.B.; RAMOS NETO, M.B.; PEREIRA, P.G.P.; CALDAS, E.F.; GONÇALVES, D.A.; SANTOS, N.S.; TABOR, K.; STEININGER, M. 2004. Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. Brasília: Conservação Internacional. 26p.
- MANTOVANI, W. 1998. Dinâmica da floresta pluvial Atlântica. Pp.1-20. In: Anais do IV Simpósio de Ecossistemas Brasileiros. v.2, ACIESP, São Paulo.
- MARTINS, V. 2008. Aplicação de isótopos de Pb, Sr, H e O como traçadores da recarga e da contaminação de aquíferos metropolitanos: um exemplo da Bacia do Alto Tietê: um exemplo da Bacia do Alto Tietê. São Paulo, 220p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

- MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE GOIÁS. 2012. Disposição Final dos Resíduos Sólidos nos Municípios de Goiás. In: Relatório de Informações Estratégicas nº 002.
- MOREIRA, M.A.; AULICINO, L.C.M.; SHIMABUKURO, Y.E. *et al.* 1998. Modelo de mistura espectral para identificar e mapear áreas de soja e milho em quatro municípios do estado de Minas Gerais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos. CD ROM. Anais.
- NAVARRETE, C. M. & GARCÍA, A. G. 2003. Perímetros de protección para captaciones de água subterrânea destinada al consumo humano. Metodología y aplicación al territorio. Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas. Madrid: IGME.
- ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS – OEAA. 2009. Programa Estratégico de Ação. Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani. CD. Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai.
- ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS - OEAB. 2009. Avanços no Conhecimento do Sistema Aquífero Guarani. Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani. CD. Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai. 9 Tomos. 32 volumes.
- OLIVA, A. 2006. Estudo hidrofaciológico do aquífero rio claro no município de Rio Claro - SP. Tese de Doutorado. 244 p.
- PARKHURST, D.L. & APPELO, C.A.J. 2013. Description of input and examples for PHREEQC version 3--A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 6, chap. A43, 497 p.
- PAULA E SILVA, F. 1988. Exploração do Sistema Aquífero Botucatu na Cidade de Bauru - SP: O Condicionamento tectônico na avaliação do potencial hídrico da área. V Congresso Brasileiro de Águas Subterráneas, São Paulo, Anais, p. 63-73.
- PAULA E SILVA, F.; KIANG, C. H. & CAETANO-CHANG, M. R. & SINELLI, O. 2008. Arcabouço geológico e hidrofácies do Sistema Aquífero Guarani no município de Ribeirão Preto (SP). Revista Brasileira de Geociências, São Paulo. V. 38 (1): p. 56-67.
- PINTO, A.L. 2003. Saneamento Básico e Qualidade das Águas Subterráneas. In: MORETTI, E.C.; CALIXTO, M.J.M.S. Geografia e produção do espaço regional: sociedade e ambiente. Campo Grande: UFMS, p. 11-55.
- SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS PARA DEFESA VEGETAL. ESTATÍSTICAS DO SETOR – SINDVEG. Disponível em <http://www.sindiveg.org.br/estatisticas.php>.



- SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE DE SÃO PAULO – SMA. 1997. Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo. Instituto Geológico, CETESB, DAEE. São Paulo.
- SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE DE SÃO PAULO – SMA. 2010. Diagnóstico ambiental para subsídio ao Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. Relatório técnico 117.017-205 SMA/CPLA. São Paulo.
- SOARES, A. P.; SOARES, P. C. & HOLZ, M. 2008. Correlações Estratigráficas Conflitantes no Limite Permo-Triássico no Sul da Bacia do Paraná: O Contato Entre Duas Sequências e Implicações na Configuração Espacial do Aquífero Guarani. Revista Pesquisas em Geociências, 35 (2): 115-133.
- STEMPVOORT V.D.; EWERT L.; WASSENAAR L. 1992. Aquifer vulnerability index: a GIS-compatible method for groundwater vulnerability mapping. – Canadian Water Resources Journal 18:25–37.
- TELFORD, W. M., GELDART, L. P. & SHERIFF, R. A. 1990. Applied geophysics, 2nd edition: Cambridge Univ. Press.
- TODD, D. 1959. Hidrologia de águas subterrâneas. Editora Edgard Blücher Ltda. Tradução: USAID.
- USEPA. 1993. Guidelines for delineation of wellhead protection areas. Technical Report EPA/440/5- 93-001, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Groundwater Protection, Washington, DC.
- USEPA. 1994. Handbook: ground water and wellhead protection. Technical Report EPA/625/R-94- 001, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Cincinnati, OH.
- ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. C.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M .A .M; VIEIRA, I. S. & APPI, V. T. 1990. Bacia do Paraná. In: Origem e evolução de Bacias Sedimentares. Petrobras, Rio de Janeiro, p. 135-164.



SECRETARIA DO  
AMBIENTE E  
DESENVOLVIMENTO  
SUSTENTÁVEL



Secretaria do  
Desenvolvimento  
Econômico Sustentável



SEMA  
SECRETARIA DE  
ESTADO DE  
MEIO AMBIENTE



SECIMA  
SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO  
AMBIENTE, RECURSOS HÍDRICOS,  
INFRAESTRUTURA, CIDADES E  
ASSUNTOS METROPOLITANOS



MINISTÉRIO DO  
MEIO AMBIENTE

