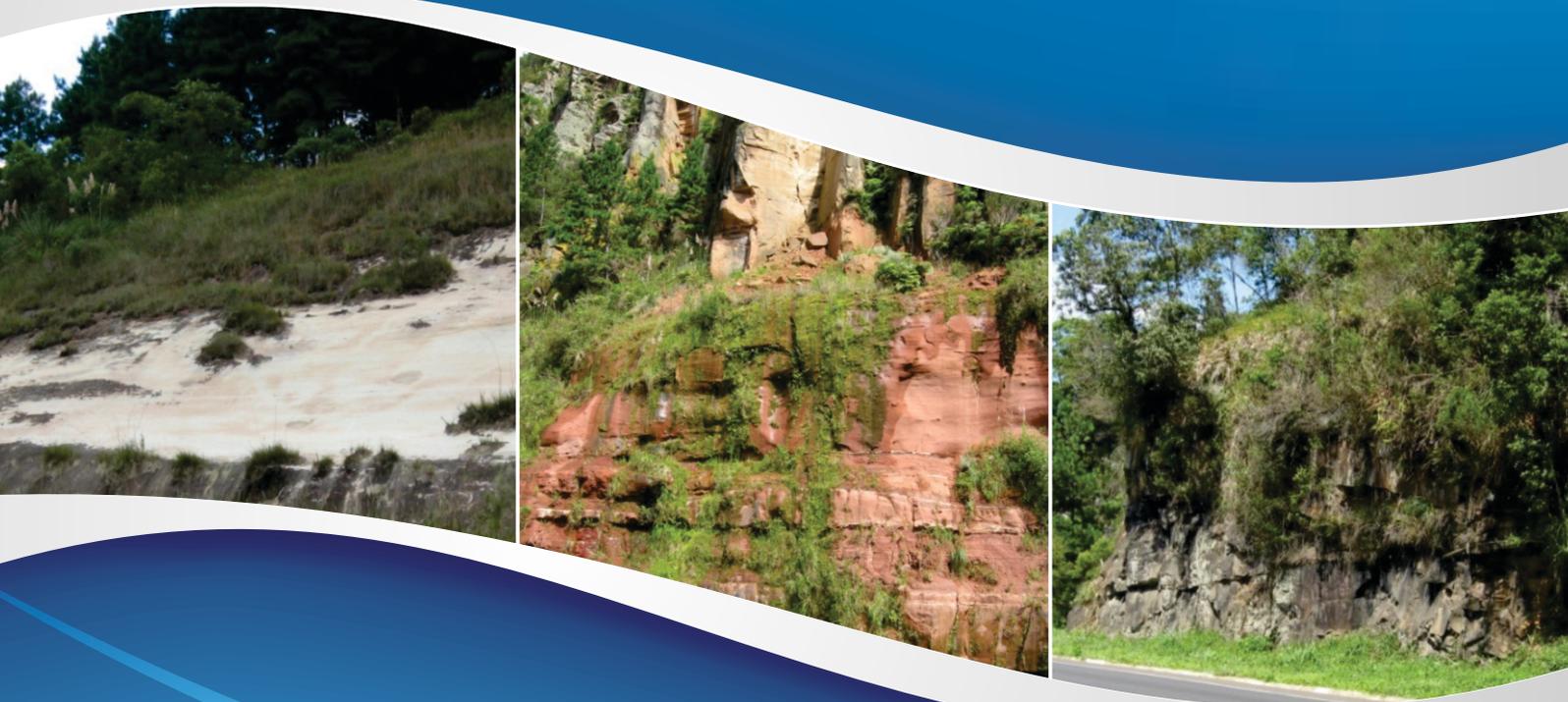


ESTUDO DE VULNERABILIDADE NATURAL À CONTAMINAÇÃO E ESTRATÉGIAS DE PROTEÇÃO DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI NAS ÁREAS DE AFLORAMENTO

RELATÓRIO FINAL | 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



© 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 Andreatza	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;

A265e	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 III - ÁREA PILOTO DE SÃO SEBASTIÃO
DO CAÍ (RS)

ENGEORPS 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 Zandonai (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;

A265e	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 III / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2016. 141p. 1. Recursos Hídricos – Contaminação 2. Aquífero Guarani 3. Águas Subterrâneas - Gestão I. Título CDU 556.33
--------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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 III

PÁG.

1.	ESTUDOS EM ÁREAS DE AFLORAMENTO DO SAG NA ÁREA PILOTO DE SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ (RS).....	5
1.1	MAPEAMENTO GEOLÓGICO	7
1.1.1	<i>Unidades Litoestratigráficas da Área Piloto de São Sebastião do Caí.....</i>	<i>11</i>
1.1.2	<i>Mapa Geológico da Área Piloto de São Sebastião do Caí.....</i>	<i>18</i>
1.2	CADASTRO DE POÇOS	20
1.2.1	<i>Consolidação de informações Preexistentes.....</i>	<i>20</i>
1.2.2	<i>Cadastro de novos poços</i>	<i>22</i>
1.3	MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA	26
1.3.1	<i>Metodologia do Mapeamento de Uso e Ocupação da Terra.....</i>	<i>26</i>
1.3.2	<i>Análise do Uso e Ocupação da Terra</i>	<i>30</i>
1.4	CADASTRO DE FONTES POTENCIAIS DE CONTAMINAÇÃO	44
1.4.1	<i>Fontes potenciais pontuais de contaminação</i>	<i>44</i>
1.4.2	<i>Fontes potenciais difusas de contaminação</i>	<i>52</i>
1.5	HIDROQUÍMICA DO SAG NA ÁREA PILOTO DE SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ.....	60
1.5.1	<i>Resultados das análises hidroquímicas</i>	<i>62</i>
1.5.2	<i>Classificação das águas subterrâneas do SAG na área piloto de São Sebastião do Caí (RS)</i>	<i>65</i>
1.5.3	<i>Parâmetros hidroquímicos acima dos Valores Máximos Permitidos</i>	<i>66</i>
1.5.4	<i>Parâmetros específicos</i>	<i>67</i>
1.6	MAPEAMENTO HIDROGEOLÓGICO.....	77
1.6.1	<i>Método para Elaboração do Mapa Hidrogeológico da Área Piloto de São Sebastião do Caí.....</i>	<i>77</i>
1.6.2	<i>Mapa Potenciométrico da Área Piloto de São Sebastião do Caí.....</i>	<i>77</i>
1.6.3	<i>Mapa Hidrogeológico da Área Piloto de São Sebastião do Caí</i>	<i>80</i>
1.6.4	<i>Modelo Conceitual de Fluxo do SAG na Área Piloto de São Sebastião do Caí.....</i>	<i>80</i>
1.7	MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE NATURAL	82
1.7.1	<i>Método para Elaboração do Mapa de Vulnerabilidade do SAG Aflorante da Área Piloto de São Sebastião do Caí.....</i>	<i>84</i>
1.7.2	<i>Mapa de Vulnerabilidade do SAG Aflorante da Área Piloto de São Sebastião do Caí.....</i>	<i>88</i>
1.8	MAPEAMENTO DO PERIGO DE CONTAMINAÇÃO	90
1.8.1	<i>Método para Elaboração do Mapa de Classificação de Fontes Pontuais de Contaminação do SAG na Área Piloto de São Sebastião do Caí.....</i>	<i>91</i>
1.8.2	<i>Mapa de Classificação de Fontes Pontuais de Contaminação do SAG da Área Piloto de São Sebastião do Caí.....</i>	<i>94</i>
1.8.3	<i>Método para Elaboração do Mapa de Perigo de Contaminação do SAG por Fontes Difusas na Área Piloto de São Sebastião do Caí.....</i>	<i>97</i>
1.8.4	<i>Mapa de Perigo de Contaminação do SAG por Fontes Difusas da Área Piloto de São Sebastião do Caí.....</i>	<i>99</i>

2.	<i>ESTRATÉGIAS DE PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SAG</i>	101
2.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	101
2.2	GESTÃO INTEGRADA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, MEIO AMBIENTE E USO DA TERRA NO TERRITÓRIO DE ABRANGÊNCIA DO SAG AFLORANTE.....	101
2.2.1	<i>O Uso e Ocupação da Terra nas Áreas de Afloramento do SAG</i>	101
2.2.2	<i>Unidades de Conservação Municipais e a Proteção do SAG</i>	104
2.2.3	<i>Diretrizes para Controle da Contaminação das Águas Subterrâneas</i>	105
2.3	ÁREAS DE RESTRIÇÃO E CONTROLE.....	109
2.4	PROPOSIÇÃO DE ÁREAS DE PROTEÇÃO DE AQUÍFEROS.....	113
2.5	PERÍMETROS DE PROTEÇÃO DE POÇOS PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO	114
2.6	DIRETRIZES PARA ELABORAÇÃO DE NORMAS PARA PROTEÇÃO DO SAG NA ÁREA PILOTO DE SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ	121
2.6.1	<i>Legislação do Estado do Rio Grande do Sul (RS)</i>	122
2.6.2	<i>Diretrizes Propostas</i>	125
3.	<i>CONCLUSÕES</i>	131
4.	<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	134

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.

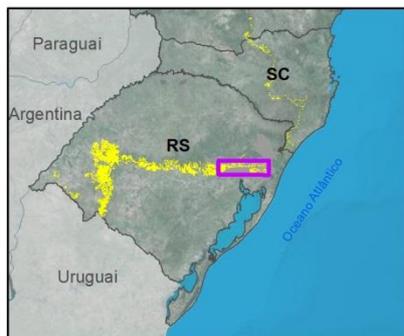
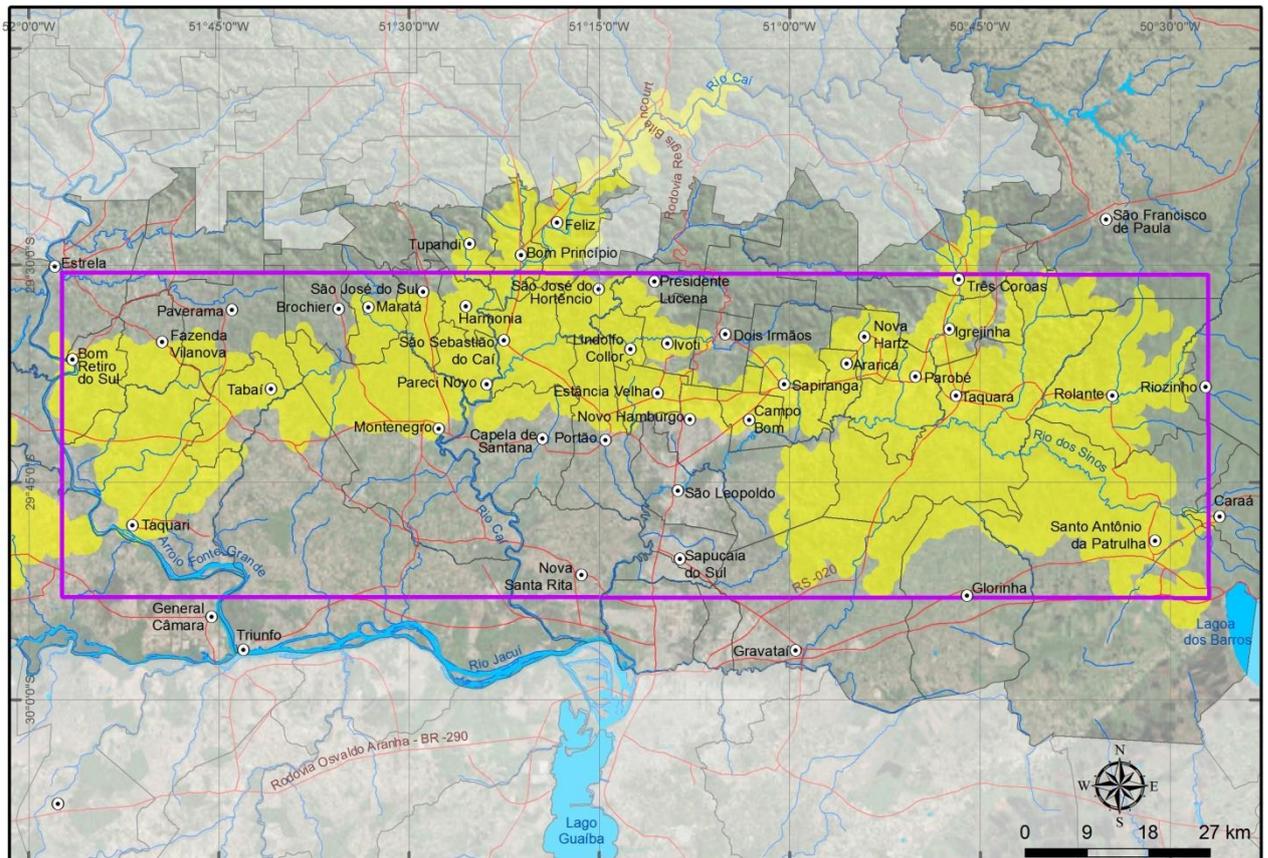
O relatório está estruturado em 04 Tomos, sendo um para a apresentação geral dos resultados obtidos para a área de afloramento do SAG no Brasil, em escala regional, envolvendo oito estados e dois tomos focados em resultados de duas áreas piloto definidas anteriormente no citado Termo de Referência, em escala maior. 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.

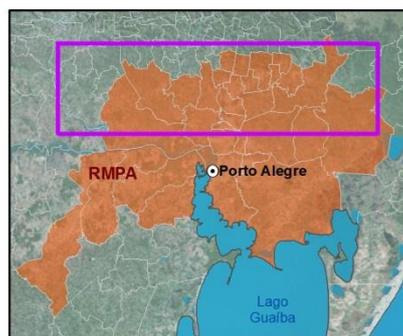
O presente caderno constitui o Tomo III.

1. ESTUDOS EM ÁREAS DE AFLORAMENTO DO SAG NA ÁREA PILOTO DE SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ (RS)

A área piloto denominada de São Sebastião do Caí, localizada no Estado do Rio Grande do Sul, cobre uma área retangular com superfície da ordem de 6.000 km², delimitada aproximadamente pelas coordenadas geográficas 29° 30' e 29° 52' do hemisfério sul, e 50° 26' e 51° 57' a oeste de Greenwich, conforme mostrado na Figura 1.1.



Localização da Área de Estudos no Estado do RS



Localização da Área de Estudos na Região Metropolitana de Porto Alegre

Convenções Cartográficas

- Rios
- Massas D'Água
- Rodovias
- Sedes Municipais
- Limite Municipal
- Área piloto no RS
- Afloramento do SAG (Buffer de 1km)

Figura 1.1 – Localização da área piloto de São Sebastião do Caí.

Este retângulo intercepta, parcial ou totalmente, 55 municípios do Rio Grande do Sul, e abrange 36 sedes municipais, destacando-se entre elas Novo Hamburgo, São Leopoldo, Ivoti e a própria São Sebastião do Caí. A região foi selecionada para estudo detalhado em virtude da escassez de informações hidrogeológicas, do potencial de contaminação das águas do SAG pelo uso de agroquímicos e da deficiência dos serviços urbanos de coleta e tratamento de esgotos.

As áreas de afloramento do SAG contidas nos limites do piloto de São Sebastião do Caí, excluindo aquelas cobertas por sedimentos aluvionares recentes, somam pouco mais de 1.600 km² de rochas sedimentares de idades variando do Triássico ao Cretáceo.

1.1 MAPEAMENTO GEOLÓGICO

Previamente aos trabalhos de campo, foi realizada fotointerpretação preliminar da área de estudo com utilização de fotografias aéreas na escala 1:60.000 e 1:110.000 e dados do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) de elevação de terreno, além de base topográfica impressa na escala 1:50.000. Nesta etapa, foram distinguidas e delimitadas preliminarmente as unidades litoestratigráficas ocorrentes na área.

Na área piloto de São Sebastião do Caí foram identificadas e mapeadas, na escala 1:50.000, rochas atribuídas às formações Estrada Nova, Rio do Rasto e Sanga do Cabral (Triássico Inferior/Permiano Superior), correspondentes ao Sistema Aquífero Passa Dois, rochas da Formação Sanga do Cabral (de mesma idade), bem como correspondentes às formações Santa Maria (Triássico), Pirambóia (Triássico/ Jurássico) e Botucatu (Jurássico/Cretáceo Inferior), constituintes do SAG no Rio Grande do Sul e Serra Geral (Cretáceo Inferior), unidade constituída por rochas vulcânicas intercaladas e sobrejacentes ao SAG, além de depósitos de planícies aluvionares e colúvio aluviais (Figura 1.2).

Em campo, as unidades litoestratigráficas foram reconhecidas e descritas segundo suas características litológicas e texturais (granulometria, grau de seleção, morfologia dos grãos, etc.), mineralógicas, de cimentação, de matriz e de fácies sedimentares. A ênfase foi colocada nas unidades componentes do SAG na área piloto, que são as formações Botucatu, Pirambóia (a Formação Guará foi considerada equivalente à Formação Pirambóia, razão pela qual não foi individualizada) e Santa Maria.

As três unidades componentes do SAG, formações Botucatu, Pirambóia e Santa Maria distribuem-se por faixa alongada de direção leste-oeste, ocupando 1.637 km² da área piloto. A Formação Santa Maria (61 km²) tem ocorrência restrita ao bordo oeste do piloto. A Formação Pirambóia distribui-se por 286 km² de estreita faixa no limite sul da área, enquanto a Formação Botucatu distribui-se de modo generalizado por 1.290 km². As expressivas coberturas aluvionares e colúvio-aluviais distribuem-se por 1.549 km² do piloto de São Sebastião do Caí, cobrindo os depósitos do SAG e outras unidades mais antigas.

As formações Sanga do Cabral, Rio do Rasto e Estrada Nova, que representam o substrato do SAG, foram mapeadas somente nos limites sul da área piloto. As características litológicas

semelhantes têm ocasionado confusão quando da distinção entre as formações Sanga do Cabral e Pirambóia, como observado em vários estudos.

Nos limites setentrionais do piloto, rochas vulcânicas da Formação Serra Geral se sobrepõem aos sedimentos constituintes do SAG, com espessuras crescentes para o norte, indicando a proximidade com os limites hidrogeológicos entre as zonas confinadas, ao norte, e livres do aquífero, ao sul.

Para a elaboração do mapa geológico na escala 1:50.000, foram consultados mapeamentos anteriores realizados da área piloto de São Sebastião do Caí, tais como os descritos abaixo com alguns detalhes apresentados nas Figuras 1.2 a 1.4.

- ✓ Geologia da Folha Gravataí, escala 1:100.000 (CPRM, 2008);
- ✓ Mapa Geológico das Folhas Gravataí e Santo Antônio da Patrulha, realizado pelo Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, escala 1:100.000 (Dehnhardt *et al.* 1984);
- ✓ Mapa Geológico da Folha de São Leopoldo, escala 1:50.000 (Unisinos, Zeltzer *et al.* 1991);
- ✓ Mapa Geológico Integrado – Projeto Plano Diretor da Região Metropolitana de Porto Alegre, escala 1:250.000 (CPRM, 2006);
- ✓ Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul, escala 1:1.000.000 (Carraro *et al.*, 1974, UFRGS – FAPERGS);
- ✓ Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul, escala 1:750.000 (CPRM, 2009).

Este conjunto de mapas geológicos e vários artigos científicos (vide bibliografia) serviram de apoio para o mapeamento. Todavia, foi necessário adotar um critério litoestratigráfico para distinção das unidades, uma vez que todos estes mapas apresentavam unidades litoestratigráficas, limites e relações estratigráficas muito diferentes entre si. Foi muito comum observar que uma mesma área geográfica havia sido mapeada ou como Sanga do Cabral, ou Pirambóia, ou Botucatu.

Para a reinterpretação estratigráfica adotada neste mapa foram consideradas as novas propostas desenvolvidas nos últimos anos, em especial os critérios estratigráficos propostos por Soares *et al.* (2008) e Lebac (2008) para as unidades mesozoicas reconhecidas na Bacia do Paraná, particularmente no Rio Grande do Sul.

A determinação da configuração espacial e arranjo das unidades estratigráficas que compõem o Sistema Aquífero Guarani, além do aprofundamento no conhecimento atual de seu arcabouço geológico, constituíram os objetivos do mapeamento da área piloto de São Sebastião do Caí (RS). Os espessos pacotes de arenitos continentais que vão desde o topo da Formação Sanga do Cabral até a base dos basaltos da Formação Serra Geral têm sido investigados sob diferentes perspectivas e, portanto, dando origem a produtos geológicos bastante distintos para áreas idênticas.

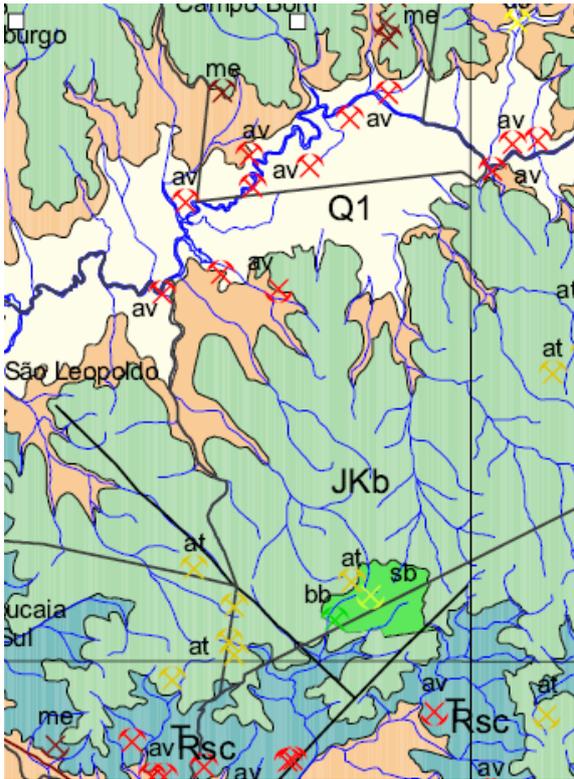


Figura 1.2 – Detalhe da região leste da cidade do São Leopoldo em mapa geológico da Região Metropolitana de Porto Alegre, escala 1:250.000 (CPRM, 2006).

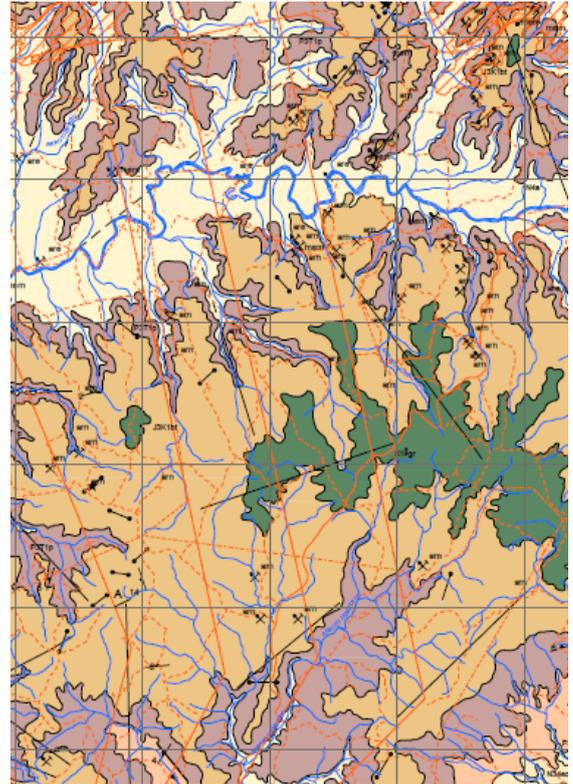


Figura 1.3 – Detalhe da região leste da cidade do São Leopoldo em mapa geológico da Folha de Gravataí, escala 1:100.000 (CPRM, 2008).

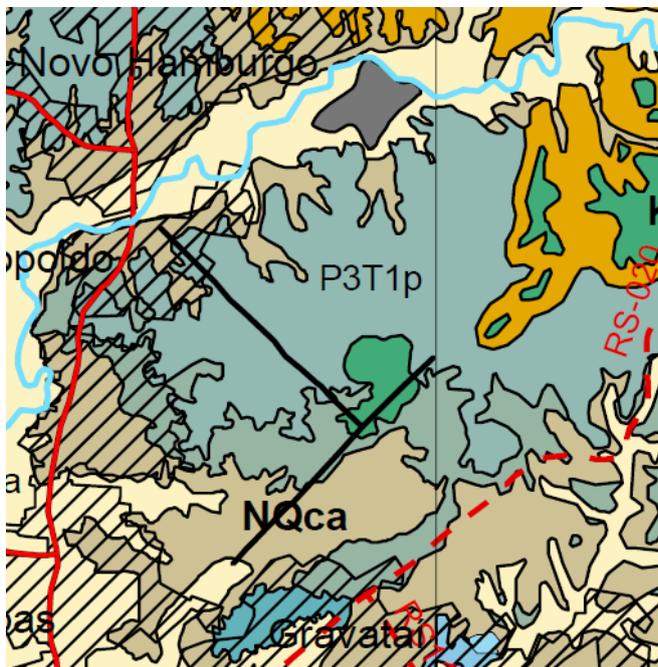


Figura 1.4 – Detalhe da região leste da cidade de São Leopoldo no mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul, escala 1:750.000 (CPRM, 2009).

Nesse sentido, o Projeto Sistema Aquífero Guarani (OEAb, 2009) foi um importante marco que permitiu aos técnicos e profissionais de diferentes países e regiões, a oportunidade de discutir amplamente sobre as questões litoestratigráficas controversas do SAG.

A sedimentação continental predominantemente eólica e fluvial, às vezes associada à lacustre, repete-se ciclicamente desde o final do Permiano até o início do extravasamento de lavas basálticas, decorrentes da fragmentação do Gondwana. Além de apresentarem litologias, texturas e estruturas sedimentares muitas vezes similares, a grande maioria desses depósitos é carente de conteúdo fossilífero de valor cronoestratigráfico. Constituem exceção os sedimentos arenosos e sílticos do Triássico Médio/Superior da região de Santa Maria (RS), muito bem datados.

Toda esta complexa situação tem gerado um conjunto de correlações estratigráficas conflitantes e diferentes interpretações para as unidades que se estendem do final do Permiano ao Cretáceo. As mesmas se traduzem em diferentes propostas litoestratigráficas e, às vezes, uso indevido de nomes de unidades muito distantes, além das fronteiras dos estados e dos países nos quais a Bacia do Paraná está contida.

A Formação Sanga do Cabral é aqui considerada segundo a proposta de Soares *et al.* (2008), isto é, constituída por importantes pacotes de arenitos avermelhados, de granulometria predominantemente fina, com estratificações cruzadas acanaladas e tabulares planares, predominando cruzadas de grande porte na base e passando na lateral e no topo para arenitos com cruzadas acanaladas, lentes de arenitos grossos e conglomeráticos com cruzadas acanaladas e, também, intercalações de siltitos e arenitos laminados, muitas vezes com cimento carbonático e concreções.

Pelos atributos litológicos que apresentam a Formação Sanga do Cabral pode ser dividida em um Membro Inferior e um Membro Superior. O Membro Superior é constituído por depósitos associados a sistemas fluviais entrelaçados, com canais rasos e planícies arenosas. O Membro Inferior caracteriza-se por possantes depósitos eólicos (Soares *et al.*, 2008).

Esses depósitos eólicos da Formação Sanga do Cabral situam-se acima dos depósitos de planícies da Formação Rio do Rasto e, segundo a literatura geológica, apresentam espessuras superiores a 200 metros. No topo, esses arenitos eólicos apresentam relações estratigráficas de interdigitações ou levemente erosivas com os arenitos avermelhados fluviais que sempre foram atribuídos à Formação Sanga do Cabral (Andreis *et al.* 1980, 1982). Desta forma, todos esses pacotes de arenitos flúvio-eólicos com conteúdo fossilífero, indicativo do início do Triássico (Eo-Scitiano) estão situados abaixo da discordância permo-eotriássica reconhecida na Bacia do Paraná e em outras bacias gondwânicas.

Assim, no mapa do piloto esses pacotes de arenitos eólicos são considerados como integrantes da Formação Sanga do Cabral, como outrora proposto por outros autores (CPRM, 2006; Nowatzi & Kern, 2000), e não como pertencentes à Formação Pirambóia, conforme proposição de Machado (2005) e CPRM (2009).

Nesta definição, a Formação Sanga do Cabral é correlata aos arenitos flúvio-eólicos da Formação Buena Vista, no território uruguaio (De Santa Ana *et al.*, 2006) e não deve ser correlacionada à Formação Pirambóia.

Por último, Soares *et al.* (2008) indicaram que no bloco leste do Rio Grande do Sul ocorre extensa faixa de afloramentos de arenitos fluviais e principalmente eólicos, com cimentação parcial de sílica e limonita ou goethita, conferindo aos mesmos cor castanha amarronzada, com pintas e manchas brancas e ocre. No mapa do piloto, esses arenitos flúvio-eólicos esbranquiçados, às vezes de cores ocre e castanhas, com estratificações cruzadas e plano-paralelas, que se situam imediatamente por baixo dos arenitos da Formação Botucatu e por cima das formações Rio do Rasto e Sanga do Cabral, corresponderiam à Formação Pirambóia, no sentido de Soares (1975). No mapa do piloto de São Sebastião do Caí, esses arenitos são reunidos aos sedimentos atribuídos à Formação Guará sob a denominação de Formação Pirambóia. Assim definida, esta unidade correlaciona-se litoestratigraficamente aos arenitos da Formação Pirambóia do Estado de São Paulo e de outras regiões de Bacia do Paraná, à Formação Guará e aos arenitos flúvio-eólicos que ocorrem no território uruguaio reunidos na Formação Tacuarembó (Membro Inferior, segundo De Santa Ana & Veroslavsky (2003) ou à Formação Tacuarembó no sentido de Andreis *et al.* (1980).

As unidades litoestratigráficas componentes do mapa da área piloto de São Sebastião do Caí são descritas, a seguir, segundo as interpretações aqui consideradas.

1.1.1 Unidades Litoestratigráficas da Área Piloto de São Sebastião do Caí

1.1.1.1 Formação Estrada Nova

Na área piloto de São Sebastião do Caí, a Formação Estrada Nova está representada por siltitos e argilitos cinzas e esverdeados, com delgadas intercalações de arenitos finos, com sutil laminação ondulada e plano-paralela. Em alguns sítios aparecem pacotes argilosos de cores cinza, mais desenvolvidos, associados a cores amarelada e alaranjada, provavelmente de alteração.

Abrange uma pequena área a centro-sudeste, representada por alguns afloramentos dispersos e bastante alterados.

1.1.1.2 Formação Rio do Rasto

A Formação Rio do Rasto é representada por arenitos e pelitos arenosos, avermelhados, arroxeados e esbranquiçados, friáveis a levemente consolidados, de composição quartzo-feldspática a feldspática, com matriz argilosa e com intercalações de argilitos e siltitos arroxeados e avermelhados. São comuns as presenças de estratificações cruzadas tabulares e acanaladas de pequeno porte, laminações plano-paralelas e feições erosivas lentiformes, de corte e preenchimento (Figuras 1.5 e 1.6).

Esses depósitos são atribuídos a sistemas transicionais flúvio-deltaicos gradando para continentais, provavelmente com episódios lacustres associados.



Figura 1.5 – Fm. Rio do Rasto.



Figura 1.6 - Fm. Rio do Rasto.

Arenitos finos e siltitos, arroxeados e avermelhados, com estratificação horizontal e marcas de ôndulas.

1.1.1.3 Formação Sanga do Cabral

Na área piloto de São Sebastião do Caí, a Formação Sanga do Cabral (Figuras 1.7 e 1.8) é constituída por litologias predominantemente arenosas, friáveis e espessas, onde ocorrem predominantemente arenitos médios a finos, siltosos, avermelhados, arroxeados e até esbranquiçados, com estratificações cruzadas de diversos tipos (acanaladas de baixo ângulo e sigmoidais, cruzadas planares de alto ângulo e de grande porte, e estratificações plano-paralelas, às vezes com presença de micas e, comumente, com cimento carbonático e concreções. Argilas vermelhas e delgados níveis de argilas esverdeadas com laminação plano-paralela intercalam-se aos arenitos e, localmente, são exploradas para fabrico de cerâmica. Níveis de argilas verdes bentoníticas são típicas das unidades transicionais e continentais do fechamento da Bacia do Paraná no final do Permiano e durante o Triássico, possivelmente associados a tufos vulcânicos.



Figura 1.7 – Fm. Sanga do Cabral.



Figura 1.8 - Fm. Sanga do Cabral.

Arenitos e siltitos avermelhados, interestratificados, com estratificações horizontais, marcas de ondulas, gretas de contração, bioturbações e intercalações de lentes de areia.

O conteúdo paleontológico da Formação Sanga do Cabral é composto por restos de *Procolophonpricei* (Lavina, 1993), o que indicaria início do Triássico (Scythiano).

Os depósitos da Formação Sanga do Cabral representam uma associação flúvio-eólica muito bem caracterizada, com alguns episódios lacustres associados.

1.1.1.4 Formação Santa Maria

A Formação Santa Maria, do Grupo Rosário do Sul, constitui a unidade litoestratigráfica basal do SAG (Figuras 1.9 e 1.10). É delimitada na base por superfície erosional sobre a qual se depositaram arenitos fluviais de canais de baixa a moderada sinuosidade do Membro Passo das Tropas e, no topo, pelas litofácies pelíticas de planícies de inundação, ricas em vertebrados fósseis e horizontes de paleossolos, do Membro Alemoa.

A unidade é portadora de fósseis de vertebrados e invertebrados (conchostráceos e insetos) e vegetais (coníferas), de idade Ladiniana-Eonoriana (Faccini, 1989).

Esta unidade representa uma sucessão de cerca de 100 metros de arenitos e pelitos depositados em condições continentais por um sistema deposicional flúvio-lacustre (Soares et al., 2008). Esta unidade é restrita à região oeste da área piloto, e já foi anteriormente mapeada por outros autores.



Figura 1.9 – Fm. Santa Maria.



Figura 1.10 - Fm. Santa Maria.

Pelitos e lamitos vermelhos, com intercalações de arenitos finos.

1.1.1.5 Formação Pirambóia

Esta unidade na região piloto de São Sebastião do Caí apresenta arenitos esbranquiçados, avermelhados, ocres e castanhos amarronzados, quartzo-feldspáticos, de granulometria variável desde fina a grossa, maciços ou com estratificações cruzadas e horizontais, parcialmente cimentados com óxidos ferrosos e sílica, muitas vezes com pintas e manchas ocres e intercalações de siltitos e lamitos, particularmente na base da unidade (Figuras 1.11 a 1.15).



Figura 1.11 – Formação Pirambóia.



Figura 1.12 – Formação Pirambóia.



Figura 1.13 – Formação Pirambóia.



Figura 1.14 – Formação Pirambóia.



Figura 1.15 – Formação Pirambóia.

Afloramentos da Formação Pirambóia na área do Piloto de São Sebastião do Caí.

Arenitos esbranquiçados, marrons e ocres, finos, quartzosos e feldspáticos, selecionados, com estratificações cruzadas e horizontais, representativos de dunas eólicas e de lençóis de areia. (Figuras 1.11 a 1.15).

Segundo Soares *et al.* (2008), no bloco leste do Rio Grande do Sul esta unidade apresenta arenitos fluviais de granulometria grossa, imaturos, feldspáticos e com clastos de lamito vermelho. Sobreposto aos arenitos grossos encontra-se uma sucessão de várias dezenas de metros (70 metros a 100 metros) de arenitos avermelhados e esbranquiçados, com maturidade mineralógica moderada, apresentando grãos de quartzo foscos e bem selecionados, com predomínio de estratificação cruzada associada com estratificação sub-horizontal, representados por depósitos de dunas e interdunas úmidas, de sistema eólico.

Nos levantamentos de campo foi constatado que as principais direções de paleocorrentes medidas em estratos fluviais predominam para nordeste e, secundariamente para leste.

O contato basal é discordante erosivo sobre unidades mais antigas (Sanga do Cabral, Rio do Rasto e Estrada Nova), mostrando localmente leve angularidade.

1.1.1.6 Formação Botucatu

A unidade é constituída por arenitos quartzosos, médio a finos, avermelhados e marrons, com boa seleção e grãos arredondados, com estratificações cruzadas de grande porte e alto ângulo, depositados em forma de dunas sob a ação de ventos. Localmente, e de forma restrita, ocorrem depósitos de arenitos conglomeráticos na base das camadas de arenitos finos e estruturados, depositados por correntes aquosas efêmeras (Figuras 1.16 a 1.20). A espessura da unidade varia entre 50 metros e 80 metros na área.

O contato superior é concordante com as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral. O contato inferior é discordante com a Formação Pirambóia, representado por uma descontinuidade estratigráfica marcada por mudança abrupta de textura e de mineralogia dos sedimentos, e discordante com unidades mais antigas das quais se separa por extensa superfície erosiva regional, reconhecida ao longo de boa parte a Bacia do Paraná.

Como não possui fósseis de valor cronoestratigráfico, esta unidade é posicionada no Cretáceo em razão de suas relações estratigráficas com os basaltos da Formação Serra Geral (intercalações de arenitos com derrames) e com a Formação Pirambóia. A clara coexistência do sistema deposicional Botucatu com as manifestações vulcânicas iniciais posicionam a Formação Botucatu no Eocretáceo.

1.1.1.7 Formação Serra Geral

O magmatismo da Formação Serra Geral é dominado por basaltos e basaltos andesíticos de afinidade toleítica, com alguns termos ácidos intercalados, distribuídos em uma pilha de derrames com até 2 km de espessura. No planalto basáltico, normalmente as lavas estão alteradas, às vezes formando pequena couraça laterítica e, em outros locais, tendem a formar campos de matacões.



Figura 1.16 – Formação Botucatu.



Figura 1.17 – Formação Botucatu.



Figura 1.18 – Formação Botucatu.



Figura 1.19 – Formação Botucatu.



Figura 1.20 – Formação Botucatu.

Afloramentos da Formação Botucatu na área do Piloto de São Sebastião do Caí.

Arenitos marrons avermelhados, finos a médios, quartzo a quartzo-feldspáticos, bem selecionados, com estratificações cruzadas de grande porte e grande ângulo. (Figuras 1.16 a, 1.20).

Observe detalhe da marcante bimodalidade da granulometria (Figuras 1.18 e 1.19), típico dos depósitos eólicos.

A Formação Serra Geral ocorre principalmente na região norte, na área do piloto de São Sebastião do Caí. Foram identificadas no campo rochas vulcânicas básicas e intermediárias, assim como alguns termos ácidos.

Os derrames possuem espessuras variáveis, em geral superiores a 15-20 metros, e apresentam um horizonte maciço, abaixo, e um vesicular, acima. Muitas vezes os níveis vesiculares são muito mais espessos do que os maciços. Geralmente os basaltos apresentam textura afanítica e as vesículas são preenchidas por quartzo, calcedônia e zeólitas. Fluxos magmáticos podem ser reconhecidos em vários locais, às vezes marcados por alinhamentos de minerais ou pelo achatamento das vesículas.

Grandes e frequentes fraturas são reconhecidas afetando a unidade, mas aparentemente não existem grandes falhas deslocando blocos. Essa mesma observação já havia sido feita por outros autores.

Corpos intrusivos, como diques e sills, geralmente de composição básica, afloram na área, sendo que vários deles são explorados comercialmente como brita. Os sills normalmente estão introduzidos na Formação Sanga do Cabral ou Rio do Rasto. Os diques são de pequena espessura, afaníticos e aparecem cortando as unidades sedimentares abaixo dos basaltos, além de os próprios basaltos.

1.1.1.8 Depósitos colúvio aluviais

Estes depósitos cenozoicos resultam de processos deposicionais gravitacionais gerados por fluxo de detritos, e são representados por diamictitos e conglomerados envoltos por matriz lamítica. Caracterizam-se por apresentar sedimentos muito pobremente selecionados, constituídos por areias conglomeráticas, areias siltico-argilosas de cores avermelhadas, inconsolidadas, seixos, blocos e matacões de arenitos e de basalto.

A morfologia original dos leques aluviais foi alterada durante períodos climáticos mais úmidos, resultando na formação de rampas.

1.1.1.9 Planícies aluvionares

Trata-se de depósitos sedimentares atuais (Holoceno) com uma área de abrangência muito importante ao longo da área do piloto de São Sebastião do Caí, em particular ao longo dos principais rios como Rio dos Sinos, Rio Caí, Rio Taquari, Rio Gravataí e Rio Paranhana.

Esses depósitos sedimentares preenchem as calhas de rios e suas planícies de inundação ao longo dos vales de toda área mapeada. São representados por sedimentos inconsolidados, constituídos por cascalhos, areias grossas a finas, siltosos e siltico-argilosos, mal selecionados. Localmente, em porções mais elevadas do terreno, associados às encostas, ocorrem areias mal selecionadas com presença de clastos de rochas sedimentares e de basaltos.

1.1.2 Mapa Geológico da Área Piloto de São Sebastião do Caí

A coluna estratigráfica adotada para o SAG neste trabalho (Figura 1.21) 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).

IDADES	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS		UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS
Tércio-Quartenário	GO, MT, MS, MG, SP, PR E SC	RS	Aquíferos e Depósitos Tércio-Quartenários 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)

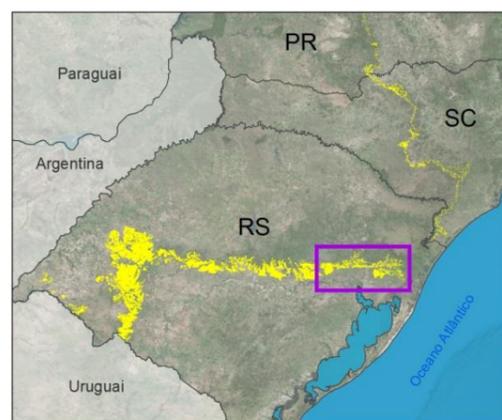
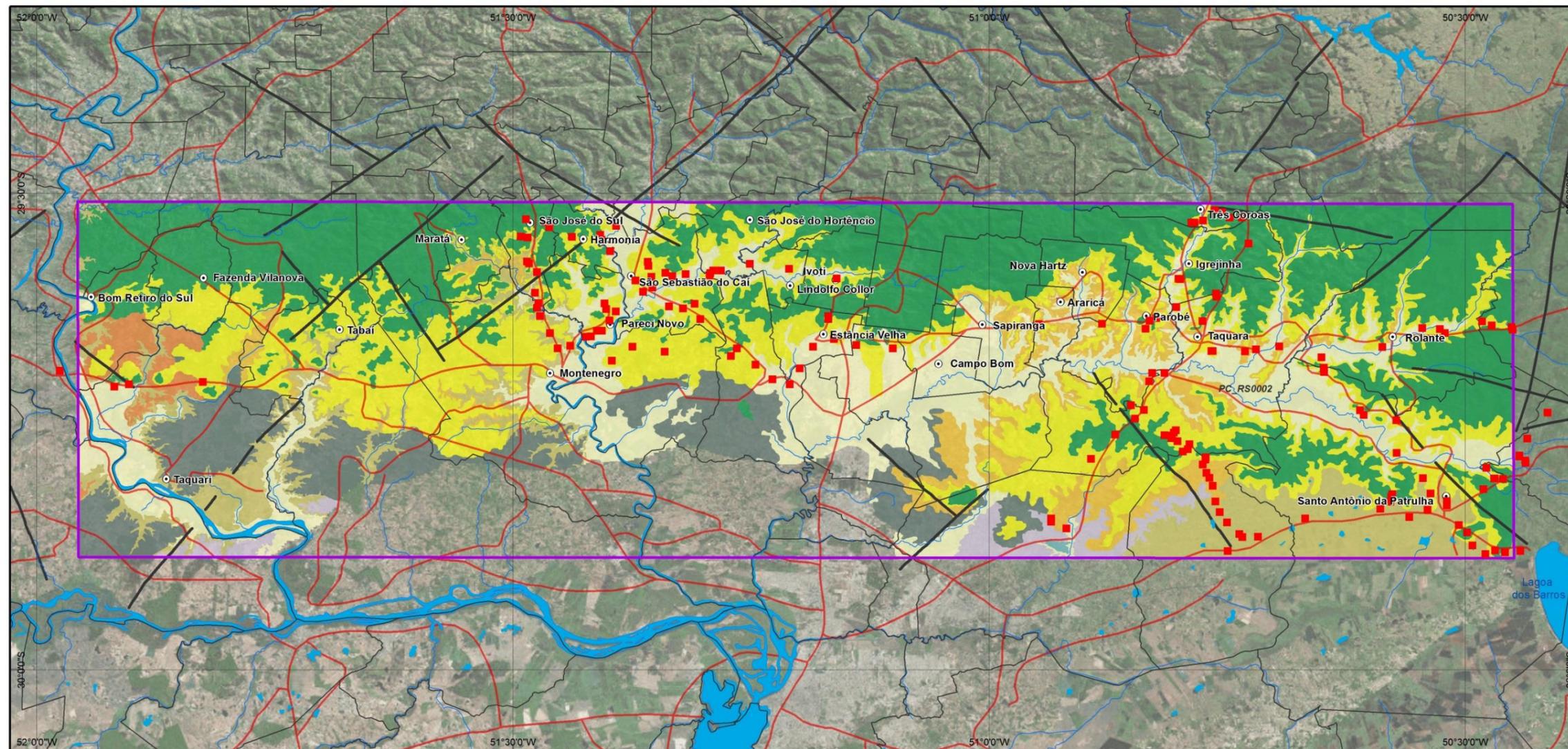
* As Formações Rio do Rasto, Corumbataí, Estrada Nova e Teresina estão reunidas no Grupo Passa Dois, que será designado como uma unidade, a princípio, indivisível no Mapa Hidrogeológico produzido no âmbito deste Estudo.

Figura 1.21 – Quadro estratigráfico adotado para o SAG.

Apenas no Rio Grande do Sul a litoestratigrafia do SAG apresenta particularidades regionais, não observadas nos demais estados onde ocorre. No Rio Grande do Sul o SAG é representado pelas formações Botucatu, Guará, Caturrita e Santa Maria. As formações Pirambóia e Guará são a mesma unidade genética, com idade entre o Neo-Triássico e Meso-Jurássico, sendo ambas correlacionáveis à Formação Pirambóia do norte da bacia, podendo comportar pequenos hiatos ou discordância com a formação Botucatu, mas com persistência das principais condições do ambiente (Soares *et al.*, 2008).

As formações constituintes do SAG estão enfeixadas, no topo, pelos derrames de rochas vulcânicas básicas da Formação Serra Geral e, na base, ou por sedimentos permianos das formações Rio do Rasto e Teresina, ou por sedimentos eotriássicos da Formação Sanga do Cabral. Enquanto nas demais áreas de ocorrência do SAG na Bacia do Paraná o limite do Sistema Aquífero é marcado pela discordância permiana, no Rio Grande do Sul este limite posiciona-se no Triássico Inferior. Carência de fósseis de valor cronoestratigráfico envolvem diferentes interpretações com relação à idade das unidades componentes do SAG, inclusive, quanto à própria definição do limite permo-triássico (Soares *et al.*, 2008).

O Mapa Geológico na escala 1:50.000 da área piloto de São Sebastião do Caí é mostrado na Figura 1.22.



Localização da área-piloto no estado do Rio Grande do Sul

Convenções cartográficas

- Rios
- Massas d'água
- Rodovias
- Sedes Municipais
- Limites Municipais
- Área piloto no RS

Geologia

- Pontos de Controle de Afloramento
 - Lineamentos
- Litoestratigrafia**
- Depósitos aluvionares
 - Coberturas Indiferenciadas
 - Formação Serra Geral
 - Formação Botucatu
 - Formação Pirambóia
 - Formação Santa Maria
 - Formação Sanga do Cabral
 - Formação Rio do Rasto
 - Formação Estrada Nova/ Corumbataí



0 4,5 9 13,5 km

Figura 1.22 – Mapa geológico da área piloto de São Sebastião do Caí.

1.2 CADASTRO DE POÇOS

1.2.1 Consolidação de informações Preexistentes

No que se refere à área piloto de São Sebastião do Caí, foram levantados 719 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 CORSAN – Companhia Riograndense de Saneamento, da SEMA – Secretaria Estadual para o Meio Ambiente - RS, do SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas da CPRM e do Sistema de Informações do Sistema Aquífero Guarani (SISAG), conforme apresentado na Figura 1.23.

Dos 719 poços previamente levantados, a maioria (116 poços) encontra-se em Nova Hartz, seguido dos municípios de Ivoti (76 poços), Portão (38), Nova Hamburgo (37) e Santo Antônio da Patrulha (37), conforme o Quadro 1.1.

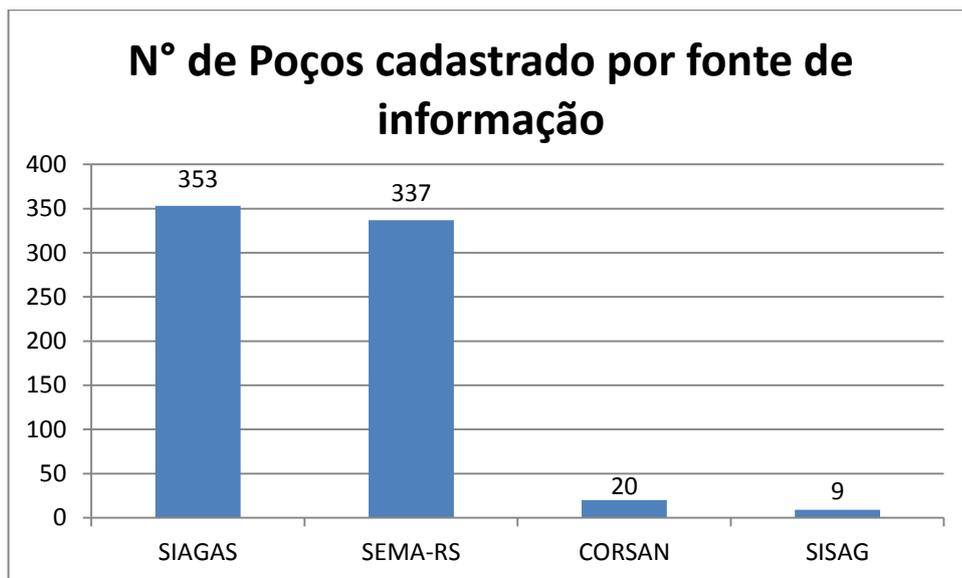


Figura 1.23 - Número de poços cadastrados por fonte de informação

QUADRO 1.1 – NÚMERO DE POÇOS PREVIAMENTE CADASTRADOS POR MUNICÍPIO.

<i>Município</i>	<i>Nº de Poços</i>	<i>Município</i>	<i>Nº de Poços</i>
Nova Hartz	116	Gravataí	9
Ivoti	76	Lindolfo Collor	8
Portão	38	Capela de Santana	6
Novo Hamburgo	37	Harmonia	6
Santo Antônio da Patrulha	37	Triunfo	6
Estância Velha	36	Dois Irmãos	5
Montenegro	34	Maratá	5
Estância Velha	32	Tabaí	5
Parei Novo	27	Três Coroas	5
Igrejinha	26	Araricá	4
São Leopoldo	26	Nova Santa Rita	4
Taquara	26	General Câmara	3
Taquari	21	Paverama	3
Rolante	20	Bom Princípio	2
Campo Bom	18	Presidente Lucena	2
Bom Retiro do Sul	16	Riozinho	2
Sapiranga	16	São José do Hortêncio	2
São Sebastião do Caí	14	São José do Sul	2
Parobé	11	Vera Cruz	2
Sapucaia do Sul	10	Caxias do Sul	1

Do total previamente cadastrado, 272 poços possuem perfil estratigráfico, localizados principalmente em Nova Hartz (64), Estância Velha (31), Ivoti (28), Santo Antônio da Patrulha (20) e Novo Hamburgo (18), o restante encontra-se disperso pelos demais municípios da área piloto. Com relação às características hidrodinâmicas, dentre estes poços 248 possuem informações de nível estático, 187 possuem dados de nível dinâmico e 153 de vazão.

Dentre os 719 poços previamente cadastrados 54 foram validados em campo, sendo 11 em Nova Hartz, 10 em Ivoti, 9 em Santo Antônio da Patrulha, 4 em Estância Velha, Rolante e São Sebastião do Caí, 3 em Igrejinha, 2 em Harmonia, Portão e Taquara e 1 em Novo Hamburgo, Parobé e Sapiranga, conforme mostrado no Quadro 1.2.

Considerando apenas a área de afloramento do SAG na área piloto, foram identificados 52 poços preexistentes validados em campo, sendo que Portão e Santo Antônio da Patrulha possuem poços validados não inseridos nas áreas de afloramento, havendo 1 poço em cada município.

Dentre os 52 poços preexistentes validados em campo e inseridos nas áreas de afloramento do SAG, 41 possuem perfis litoestratigráficos disponíveis, localizados em Nova Hartz, Ivoti, Santo Antônio da Patrulha, Estância Velha, Rolante, São Sebastião do Caí, Igrejinha, Harmonia, Taquara, Novo Hamburgo e Parobé.

QUADRO 1.2 – NÚMERO DE POÇOS VALIDADOS POR MUNICÍPIO

<i>Município</i>	<i>Nº de Poços</i>
Nova Hartz	11
Ivoti	10
Santo Antônio da Patrulha	9
Estancia Velha	4
Rolante	4
São Sebastião do Cai	4
Igrejinha	3
Harmonia	2
Portão	2
Taquara	2
Novo Hamburgo	1
Parobé	1
Sapiranga	1

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 a 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 Sebastião do Oeste foram cadastrados 13 novos poços, localizados no município de Araricá (1), Bom Retiro do Sul (2), Campo Bom (1), Igrejinha (1), Montenegro (2), Novo Hamburgo (1), Portão (2), Rolante (1), Santo Antonio da Patrulha (1) e Taquara (1).

A análise do conjunto de poços novos cadastrados indica predomínio de poços do tipo tubular (6 poços). Estes 6 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 6 poços não manifestaram desaprovação quanto à coleta de amostra de água.

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

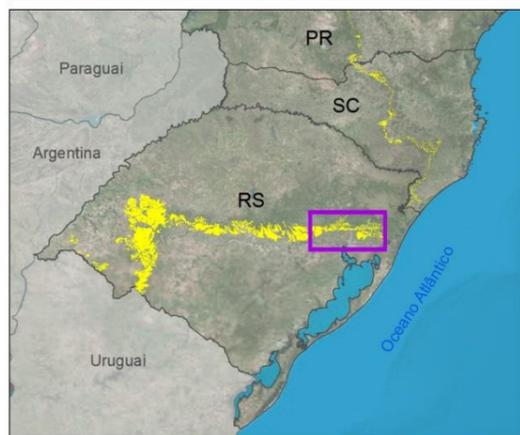
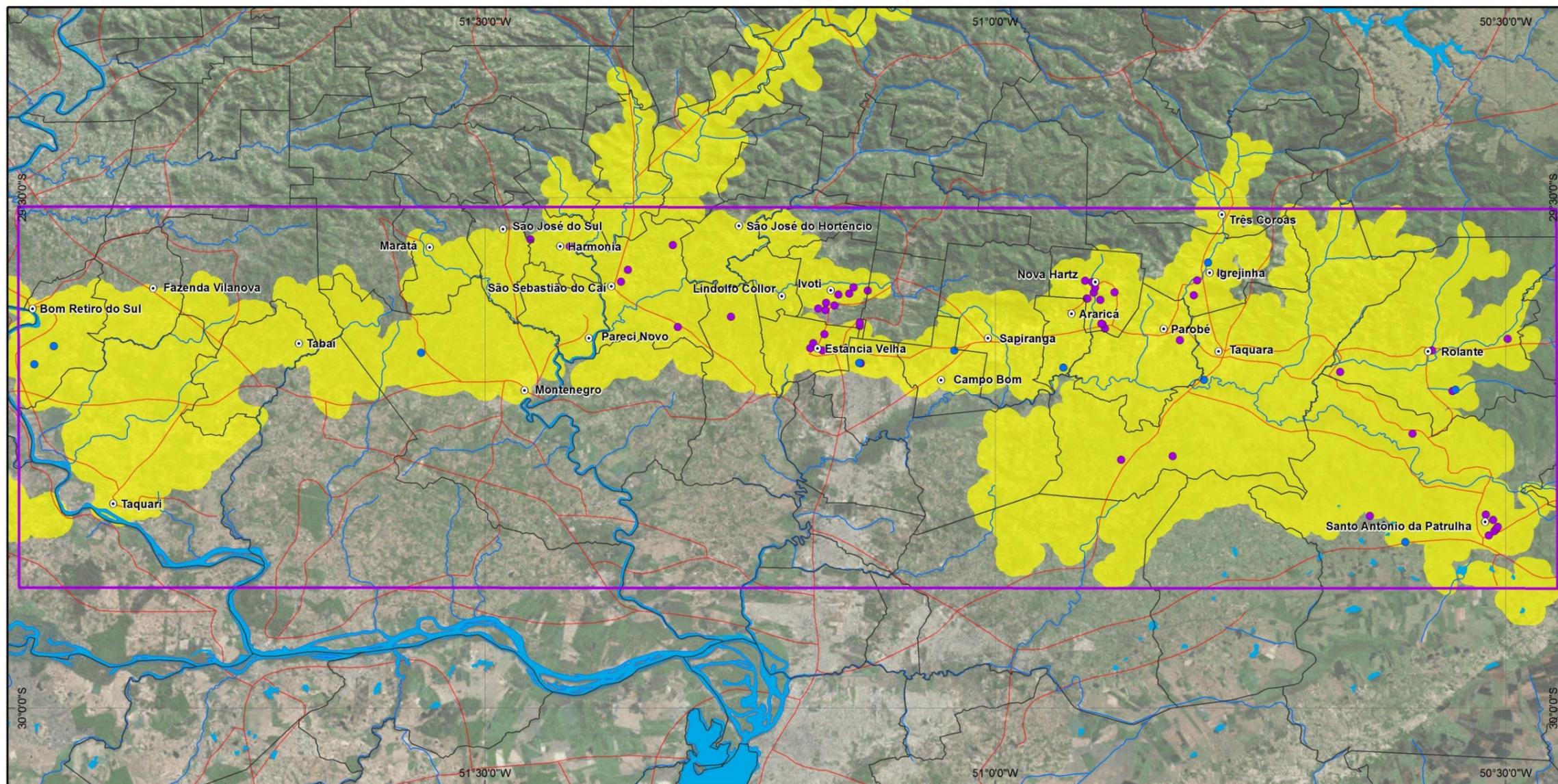
Em termos construtivos, o conjunto de poços cadastrados apresenta as seguintes características: 1 possui cimentação, 6 possuem indicação de profundidade e 2 são revestidos. Em termos de características hidrodinâmicas, nenhum deles apresenta dados de nível estático e de nível dinâmico, e 4 deles apresentam dados 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 1.24).

Dos 13 novos poços cadastrados, 10 encontram-se inseridos na área de afloramento do SAG. A Figura 1.25 apresenta a distribuição dos 52 poços preexistentes e dos 10 poços novos cadastrados no projeto, inseridos nas áreas de afloramento do SAG.



Figura 1.24 – Exemplo de poço cadastrado no Rio Grande do Sul sem proteção sanitária (laje de proteção e cimentação do espaço anular).



Localização da área piloto no estado do Rio Grande do Sul

Convenções cartográficas

- Rios
- Massas d'água
- Rodovias
- Sedes Municipais
- Limites Municipais
- Área piloto no RS
- Afloramento do SAG (Buffer de 1Km)

Poços

- Poços Novos (10)
- Poços Preexistentes Validados (52)

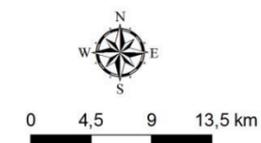


Figura 1.25 - Poços preexistentes e poços novos cadastrados no projeto.

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.

Desta forma, com a finalidade de ampliar o conhecimento nas áreas piloto, foi realizado o mapeamento de uso e ocupação da terra numa escala de maior detalhe. Assim, o presente relatório tem como objetivo apresentar os resultados do mapeamento de uso e ocupação da terra na escala 1:50.000 para a área piloto de São Sebastião do Caí.

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 Sebastião do Caí foi elaborado na escala 1:50.000 com base na classificação de imagens aéreas de 2011 disponibilizadas pelo *Google Earth*, com resolução espacial aproximada de 5 metros. Além delas, também foram utilizadas imagens do sensor *Landsat 8*, obtidas no final do segundo semestre de 2013.

Destaca-se que o *Landsat 8* possui 9 bandas previamente ortoretificadas, que podem ser utilizadas para compor imagens coloridas com resolução espacial de 30 m² por pixel. Essa resolução pode ainda ser incrementada por meio de fusão com a banda pancromática disponível, ampliando a resolução final para 15 m². Em comparação com as imagens do *Landsat 5*, tais imagens mostraram melhores nitidez e definição, principalmente quando montadas com a banda de infravermelho próximo.

Contudo, a área piloto localiza-se num ambiente favorável à formação de nuvens, o que dificulta a obtenção de imagens limpas. De fato, desde o lançamento do satélite *Landsat 8* foram disponibilizadas 11 imagens para o local, sendo que apenas a última apresentou uma atmosfera limpa o bastante para a realização da classificação.

Vale observar que antes da versão 8 da série *Landsat*, apenas o *Landsat 7* trazia a possibilidade de ampliar a resolução da cena para 15 m² e este deixou de transmitir imagens em 2003. Os demais satélites da série não são adequados para a classificação de imagens na escala do trabalho.

Assim, foram utilizadas as imagens disponibilizadas pelo *Google Earth* e, posteriormente, a cena 221-081 do *Landsat 8* obtida através do site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) em novembro de 2013, sendo esta a única imagem sem nuvens na área piloto, até então.

A imagem do *Google Earth* foi segmentada e os polígonos gerados foram exportados para o *ArcGis*. Como essa imagem original não distingue os alvos em bandas diferentes, de maneira que alvos distintos apresentam características similares, houve necessidade de se efetuar uma reinterpretação manual para editar e corrigir os polígonos gerados.

A imagem sem nuvens do *Landsat 8* foi utilizada para validação e verificação da classificação, além de ser um auxílio importante para classificar as áreas cobertas com nuvens na imagem oriunda do *Google Earth*.

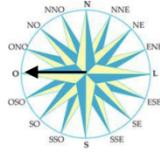
Assim, as bandas 5, 4, 3, e 2 foram fundidas à banda pancromática para obtenção de resolução de 15 m² por pixel e, posteriormente, essas bandas foram empilhadas em uma única imagem. A partir disso, foram geradas composições em falsa cor para utilização na identificação e classificação, auxiliando as edições e correções manuais sempre que necessárias.

Vale mencionar que os polígonos oriundos da segmentação sobre a imagem disponibilizada pelo *Google Earth* aderiram bem às classes de maior expressão espacial, de tal forma que as edições ficaram concentradas nas áreas menores, em geral nas paisagens mais heterogêneas, efeito particularmente comum nos locais ocupados por campos, culturas agrícolas e áreas cobertas por silvicultura, cenário predominante da área piloto de São Sebastião do Caí. O resultado mostrou melhor aderência nas áreas ocupadas com arroz e grandes campos de pastagem.

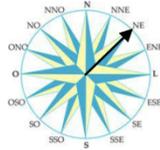
Para auxiliar o trabalho de classificação dos tipos de uso na área piloto foram tomados pontos de controle georreferenciados, em campo, para alguns padrões de uso pré-definidos. Estes pontos de controle eram cadastrados em fichas com a descrição do uso de seu entorno e com fotografias, possibilitando assim a aferição da classe identificada na imagem, como ilustrado na Figura 1.26. Foram coletadas 95 fichas para o Rio Grande do Sul, das quais 16 estão localizadas na área de abrangência da área piloto, como ilustra a Figura 1.27.

Município: Ivoti Estado: RS
Código do Ponto: 0745S
X: 486151 Y: 6726160 Fuso: 22

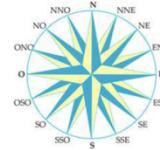
Cód Fotografia: 249
Direção geográfica do ponto central:
(marque com uma seta a partir do centro)



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



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



Tipos de uso

Agricultura Tipo de Cultura: Uva
Utiliza irrigação? Sim Não
Situação do Solo: Seco Encharcado
Relevo: Plano Ingrime

Reflorestamento
Espécie plantada: Eucalipto Pinus
Relevo: Plano Ingrime

Mata
Vegetação: Densa Rasteira Ciliar (margem dos rios)
Transição com outros usos Abrupta Suave

Campo
Aparência geral: Campo limpo Campo sujo
Vegetação: Rasteira Rasteira e arbórea
Relevo: Plano Ingrime

Área urbana
Aparência geral: Densamente ocupada (sem presença de grandes espaços vazios)
 Insipiente (presença de espaços vazios)
Composição: Apenas urbana Presença de indústrias nas proximidades

Solo Exposto
Localização: Próximo a áreas urbanas Pastos ou campos de cultivo (pré ou pós corte, incluído o reflorestamento)

*Observação:

Figura 1.26 – Fichas de campo disponíveis para a área piloto.

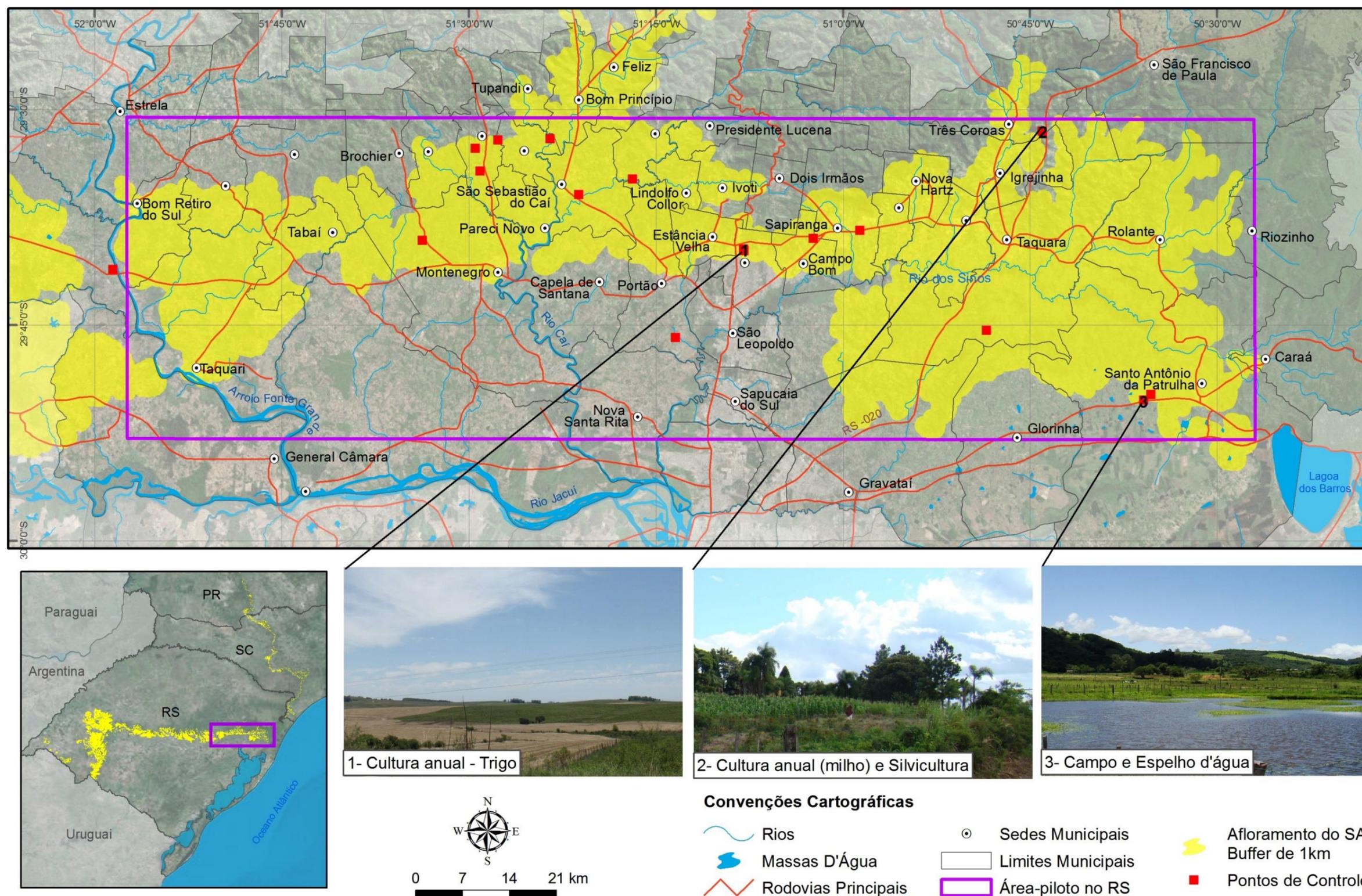


Figura 1.27 – Localização dos pontos de apoio de campo para a área piloto de São Sebastião do Caí.

Para a interpretação dos segmentos das imagens foram utilizados elementos básicos de reconhecimento como cor, tonalidade, forma, padrão, densidade, textura e tamanho. A partir disso foram mapeadas nesta área as seguintes classes de uso¹ com base no exposto no edital, e compatíveis com a escala adotada para este mapeamento (1:50.000):

- ✓ Área Urbana
- ✓ Área Industrial
- ✓ Assentamento Rural
- ✓ Culturas Anuais
 - ✧ Arroz
- ✓ Culturas Perenes
- ✓ Campo/Pastagem
- ✓ Silvicultura
- ✓ Mata
- ✓ Mata Ciliar ou de Galeria
- ✓ Mineração
- ✓ Campos Úmidos ou de Várzea
- ✓ Cerrado
- ✓ Rios
- ✓ Massas d'água
- ✓ Barramentos de água ²
- ✓ Estradas ²
- ✓ Limites Municipais e Estaduais ²

1.3.2 Análise do Uso e Ocupação da Terra

Considerando os limites da área piloto de São Sebastião do Caí, foram identificados 55 municípios inseridos total ou parcialmente nesta área, sendo que os municípios de Cachoeirinha, Canoas, Esteio, Morro Reuter, Nova Santa Rita, Picada Café, Salvador do Sul, Sapucaia do Sul e Teutônia não intersectam a área do *buffer* de 1 km do SAG, no entanto, estão incluídos na análise porque seus limites estão dentro da área piloto (Quadro 1.3).

¹As classes Cerrado, Culturas Semiperenes (cana-de-açúcar), Aeroporto, Porto e Unidades de Conservação não ocorrem na área-piloto de São Sebastião do Caí.

²Os 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.

QUADRO 1.3 – MUNICÍPIOS QUE INTEGRAM A ÁREA PILOTO DE SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ

<i>Município</i>	<i>Área Inserida na APSSC</i>	<i>Município</i>	<i>Área Inserida na APSSC</i>
Araricá	100,0%	Novo Hamburgo	100,0%
Bom Princípio	19,0%	Parei Novo	100,0%
Bom Retiro do Sul	86,4%	Parobé	100,0%
Brochier	73,1%	Paverama	98,4%
Cachoeirinha	8,6%	Picada Café	0,0%
Campo Bom	100,0%	Portão	100,0%
Canoas	18,1%	Presidente Lucena	84,2%
Capela de Santana	100,0%	Riozinho	11,8%
Caraá	2,2%	Rolante	98,5%
Cruzeiro do Sul	1,7%	Salvador do Sul	0,1%
Dois Irmãos	100,0%	Santa Maria do Herval	19,7%
Estância Velha	100,0%	Santo Antônio da Patrulha	46,7%
Esteio	100,0%	São Francisco de Paula	2,1%
Estrela	34,6%	São José do Hortêncio	79,7%
Fazenda Vilanova	100,0%	São José do Sul	87,5%
Feliz	7,8%	São Leopoldo	100,0%
General Câmara	27,8%	São Sebastião do Caí	100,0%
Glorinha	48,6%	Sapiranga	100,0%
Gravataí	46,5%	Sapucaia do Sul	100,0%
Harmonia	100,0%	Tabaí	100,0%
Igrejinha	100,0%	Taquara	97,5%
Ivoti	100,0%	Taquari	100,0%
Lindolfo Collor	100,0%	Teutônia	14,3%
Maratá	84,8%	Três Coroas	18,4%
Montenegro	100,0%	Triunfo	61,7%
Morro Reuter	70,1%	Tupandi	8,4%
Nova Hartz	100,0%	Venâncio Aires	0,7%
Nova Santa Rita	77,3%		

Em termos gerais, o Rio Grande do Sul é marcado por uma clara divisão entre o sul, onde estão os grandes municípios, cidades distantes umas das outras e áreas cobertas por monoculturas extensivas, e o norte/nordeste, cujos municípios têm limites menores, com áreas urbanas mais próximas umas das outras e coberturas agrícolas ocupadas por policulturas.

Tais diferenças estão ligadas à origem de cada uma dessas mesorregiões e, segundo Costa, (1988, *apud* Alves, 2006) se refletem na densidade demográfica, estrutura fundiária e vegetação, onde contrastes muito nítidos são evidenciados.

De acordo com Alves (2006), a ocupação do Estado do Rio Grande do Sul dividiu-se em duas etapas principais, as quais também devem ser observadas sob o viés das condições ecológicas encontradas no local.

A primeira etapa ocorreu na mesorregião Sul e está ligada à própria ocupação do estado, com distribuição de sesmarias com objetivo de consolidar a permanência portuguesa no local. É uma área composta por largas planícies levemente movimentadas, que possibilitou o estabelecimento de grandes propriedades, onde se denota uma distribuição de renda mais concentrada, desenvolvimento de pecuária e, recentemente, monoculturas como a soja e o trigo, e com baixa densidade demográfica.

A segunda etapa de ocupação foi na Mesorregião Norte/Nordeste, ocorrida de meados para o fim do século XIX e início do século XX, com as ondas migratórias oriundas da Europa, principalmente da Itália e Alemanha. Esta etapa ocorreu sobre o relevo irregular da Serra Geral e da Depressão do Rio Jacuí, que levou à formação de pequenos estabelecimentos agropastoris. Tais estabelecimentos, em específico os desta região, têm estrutura fundiária essencialmente familiar. A mesorregião norte/nordeste caracteriza-se pela pequena propriedade, produção diversificada (policultura), distribuição de renda menos concentrada e densidade demográfica mais elevada, resultando em uma proximidade maior entre as áreas urbanas dos municípios.

A área piloto está totalmente inserida nas mesorregiões norte e nordeste. De fato, a análise visual do mapeamento de uso e ocupação da terra indica predominância de propriedades pequenas de cultura variada por todo o limite estudado, padrão interrompido apenas pelas grandes áreas de ocupação por rizicultura, localizadas em geral nas margens dos grandes rios, e das silviculturas, em geral associadas à depressão do Jacuí, mas são também recorrentes nos patamares da Serra Geral. Desta forma, a dinâmica do uso e ocupação apresenta uma heterogeneidade característica, que é apresentada nas Figuras 1.28 a 1.30.

Há concentrações mais ou menos homogêneas, cuja presença marcante se alterna entre silviculturas (a oeste) e matas (a nordeste), áreas urbanas (no centro), campos/pastagens (a sudeste) e culturas anuais (do centro ao oeste), sendo estas categorias as responsáveis por 92,26% da cobertura. A quantificação para cada uma das classes mapeadas está disposta no Quadro 1.4 e na Figura 1.31, 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.

Vale mencionar que as categorias de uso e ocupação da terra e as interações destas com as características ambientais, nas quais se inserem, estão intimamente relacionadas à dispersão de poluentes e, portanto, relacionáveis à contaminação difusa de uma dada região.

A área piloto de São Sebastião do Caí localiza-se no limiar entre o bioma da Mata Atlântica, que ocupa os patamares da Serra Geral, ao norte, e o bioma dos Pampas, nas grandes planícies ao sul. Por situar-se nesta condição, a área piloto constitui-se, ecologicamente, em uma zona de transição, podendo apresentar interações complexas entre as espécies da flora e fauna características de cada um dos dois biomas.

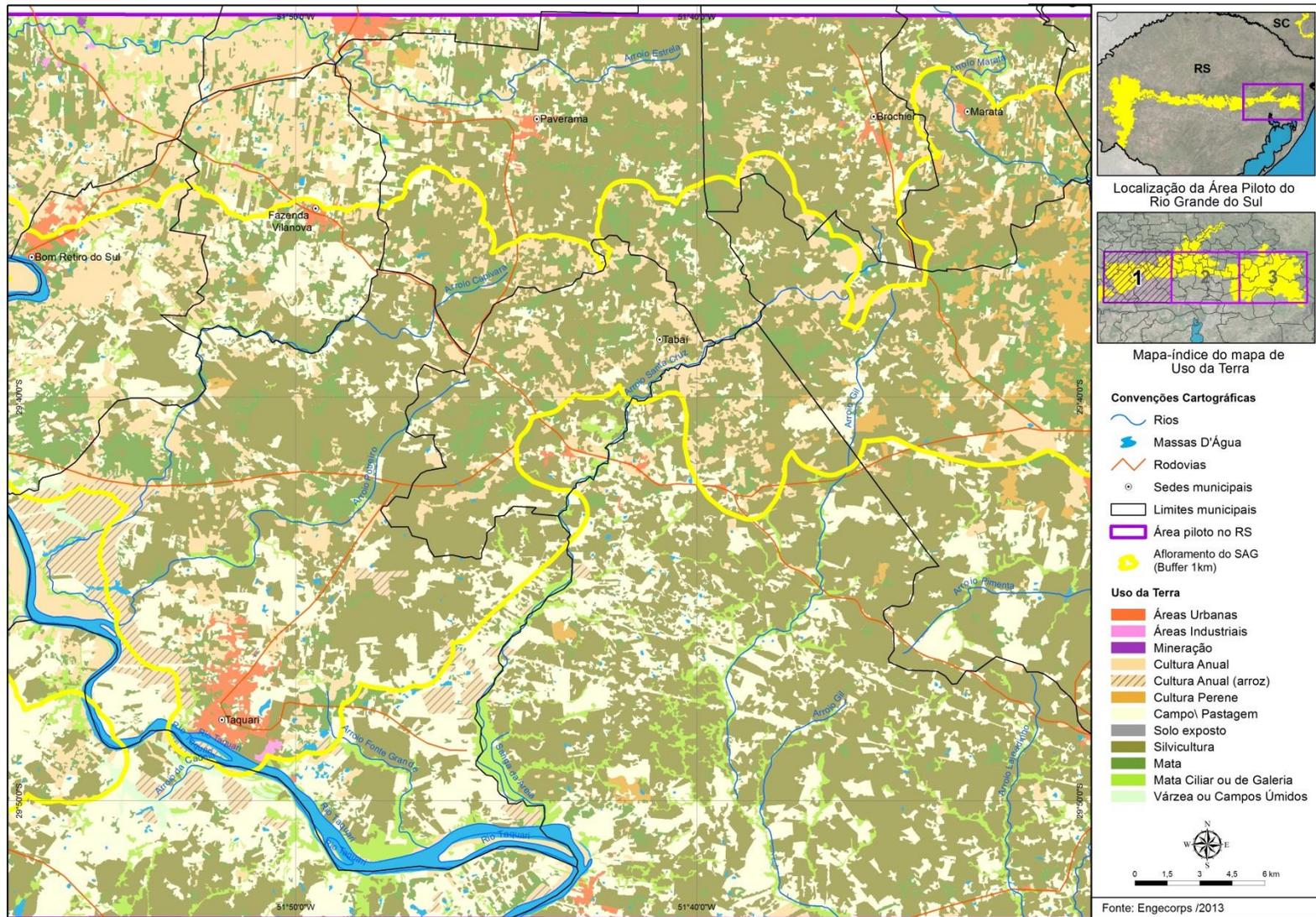


Figura 1.28 – Mapa de uso e ocupação da terra da Área Piloto de São Sebastião do Caí - Folha 1/3.

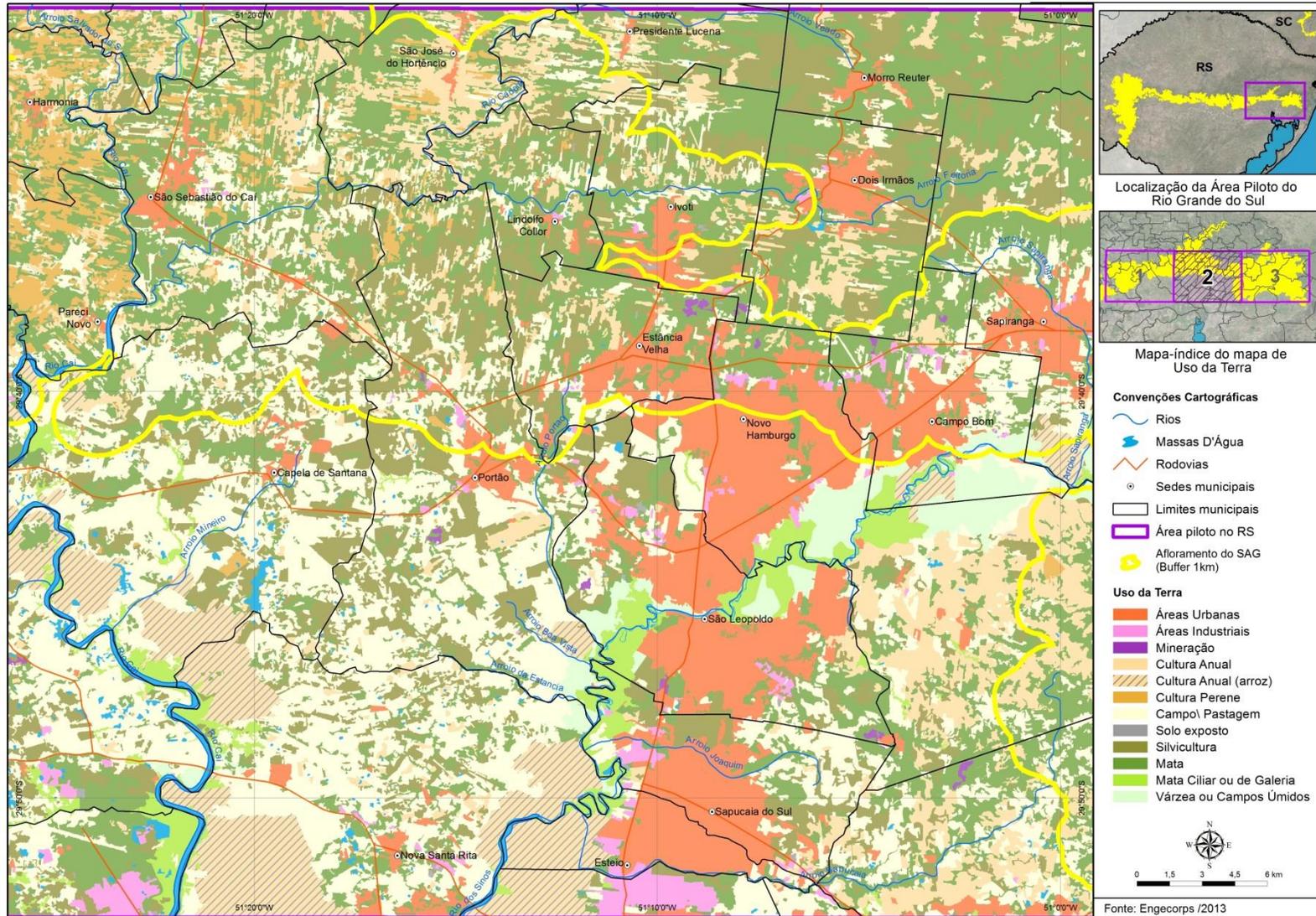


Figura 1.29 – Mapa de uso e ocupação da terra da Área Piloto de São Sebastião do Caí - Folha 2/3.

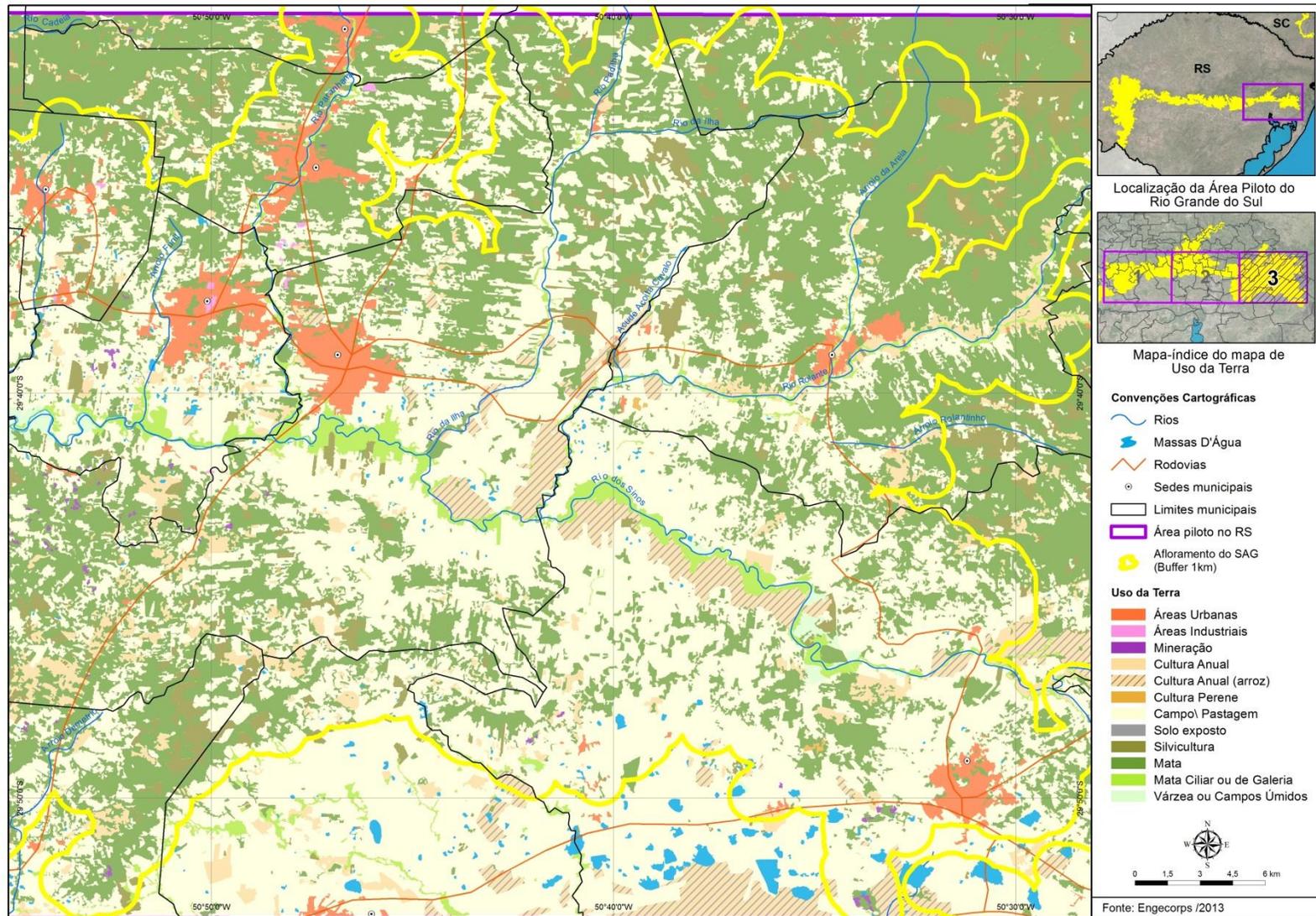


Figura 1.30 – Mapa de uso e ocupação da terra da Área Piloto de São Sebastião do Caí - Folha 3/3.

QUADRO 1.4 – CLASSES DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA ÁREA PILOTO DE SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ

Classe	km ²	%	Afloramento (km ²)	%
Campo/ Pasto	1.801,0	29,8%	523,2	32
Mata	1.439,2	23,8%	457,5	27,9
Silvicultura	1.305,1	21,6%	357,6	21,8
Cultura Anual	534,2	8,9%	164,6	10,1
Urbanas	292,6	4,8%	61,4	3,8
Cultura Anual - Arroz	202,1	3,3%	2,4	0,1
Mata ciliar ou de Galeria	195,9	3,2%	11,3	0,71
Cultura Perene	110,6	1,8%	47,9	2,91
Campos úmidos ou de Várzea	56,6	0,9%	1,2	0,07
Lagos	34,7	0,6%	3,6	0,22
Rios	26,7	0,4%	0	-
Indústrias	20,0	0,3%	3,2	0,2
Refinaria	7,8	0,1%	0	-
Mineração	5,5	0,09%	2,1	0,13
Solo exposto	3,2	0,05%	1	0,06
Total	6.035,3	100,00%	1.637,0	100

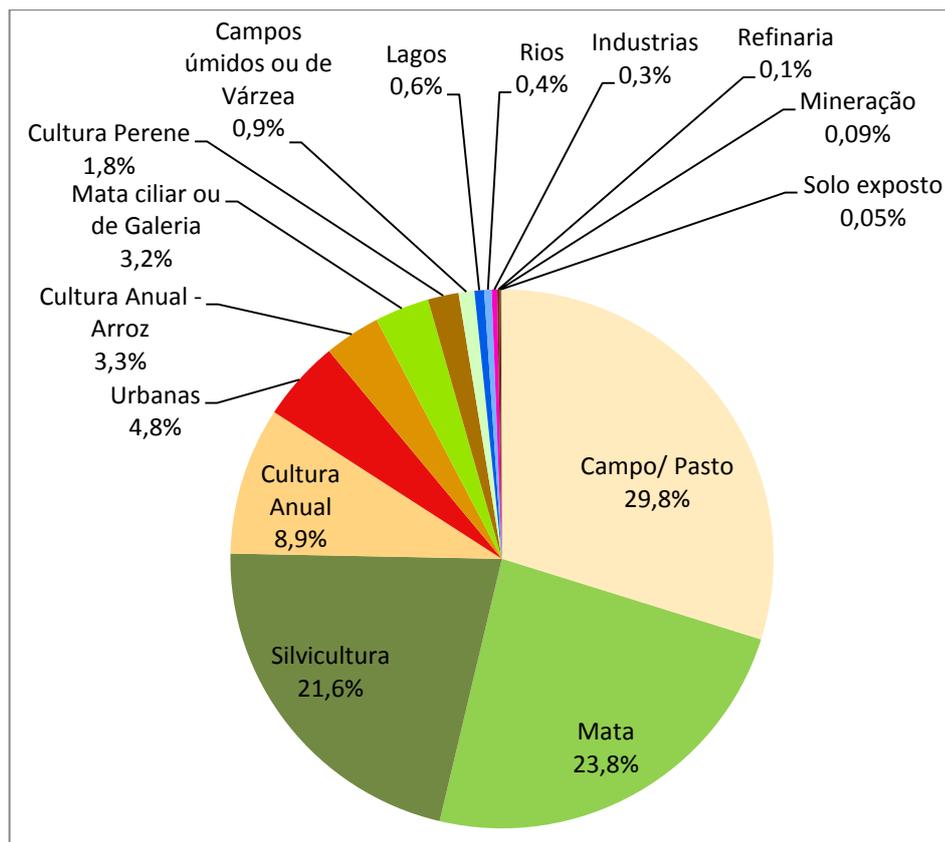


Figura 1.31 – Classes de uso e ocupação da terra da Área Piloto de São Sebastião do Caí

De fato, há uma grande área ocupada por matas na área piloto, 1.439,2 km², que representam 23,8% do total, ficando atrás apenas da classe representada pelos campos e pastos. De maneira geral, as matas estão concentradas em terrenos mais íngremes onde a agricultura tem dificuldade para se instalar. No caso em questão, as matas estão agrupadas em maior grau nas encostas da Serra Geral, localizada nas partes norte e nordeste da área, além de ocupar, em menor quantidade, as vertentes da depressão do rio Jacuí em sua parte leste.

Além das matas, também são bastante expressivas as áreas ocupadas pelas matas ciliares ou várzeas que, no total, contabilizam 195,9 km² (3,2%) ao longo de toda a área mapeada, indicando a preservação bastante significativa das margens dos grandes e médios cursos d'água, o que ajuda a conter o assoreamento.

As classes de maior expressão, os campos e pastos, ocupam 1.801 km² (29,8%) da área piloto, concentrando-se, principalmente, em três áreas que seguem as direções de sudeste, centro e sudoeste.

Vale destacar que a divisão entre florestas e campos segue, ainda que grosseiramente, os limites entre os dois biomas mencionados, indicando possível influência da área de transição na ocupação regional.

O bioma dos pampas foi fundamental para o desenvolvimento do estado, isto porque constituem grandes áreas abertas que originalmente cobriam 62,2% da atual área do Rio Grande do Sul, além de parte da Argentina e do Uruguai. Desde o início da ocupação do que viria a ser o Rio Grande do Sul, estas grandes áreas abertas cobertas por vegetação forrageira serviram como base para a fixação humana, através do estabelecimento de rebanhos animais, sobretudo na mesorregião sul (Matei & Filippi, 2012).

Desta forma, a pecuária foi predominante nos pampas até a década de 1960, quando então começou um processo de diversificação de atividade, principalmente a implantação das grandes monoculturas de soja e trigo, cuja participação econômica vem crescendo desde então.

Neste contexto, destaca-se o declínio paulatino da vegetação original e a consequente substituição pelas atividades agropecuárias, como as monoculturas mencionadas. Assim, as áreas que inicialmente eram cobertas pelos pampas ou pelas matas apresentam-se bastante alteradas por sucessivos processos de desmatamento. Segundo Santos & Trevisan (2005), em 2005, 51% dessa vegetação já havia sido suprimida pela atividade humana.

Conforme já mencionado, as áreas ocupadas por pastagens ou campos naturais são a classe mais recorrente do mapeamento. E embora seja difícil mensurar por meio de imagens orbitais quais são as áreas utilizadas por pastagens, pode-se deduzir a importância da pecuária no Rio Grande do Sul e, conseqüentemente, na área piloto.

Segundo IBGE (2013), os rebanhos somaram 14.140.654 bovinos, 468.691 equinos, 100.283 caprinos e 74.792 bubalinos nos municípios do Rio Grande do Sul. O estado também produziu em 2012 mais de dois milhões de galinhas.

Desse total, 4,1% dos bovinos foram criados nos limites da área piloto, que embora possa parecer pouco, somam 577.951 cabeças de gado, o que representa um número bastante elevado, sendo Santo Antônio da Patrulha e São Francisco de Paula os principais produtores, com 21% e 11%, respectivamente, da produção total.

Em relação ao total estadual, as demais criações detiveram proporções maiores no perímetro da área piloto, como segue, na ordem crescente: asininos (5%), equinos (6%), caprinos (7%), bubalinos (11%) e galináceos (26%), sendo Glorinha, Gravataí, Novo Hamburgo, Santo Antonio da Patrulha, São Francisco de Paula e Taquara os municípios que concentram as maiores criações, todos eles localizados na porção leste da área piloto.

Cabe ainda mencionar que um grande problema ambiental, o qual está ligado às áreas de pastagens, é a erosão. Os processos erosivos encontrados nessa região estão associados à erosão laminar ou ao ravinamento, intensificado com a ocupação das cabeceiras de drenagens por culturas agrícolas e pastagens. No caso específico da área piloto de São Sebastião do Caí, um agravante ocorre nas entressafras do arroz, quando as áreas próximas aos grandes rios ficam com o solo exposto.

Por outro lado, normalmente associadas às áreas de pastagens, há inclusive a deflagração de ravinas e voçorocas em algumas localidades, muitas vezes como resultado das compactações no solo causadas por bovinos (pisoteio) no trajeto que fazem em direção às fontes de água.

Além disso, de acordo com Matei & Filippi (2012), os Pampas têm recebido investimentos para ampliação das áreas ocupadas por silviculturas, desde o ano de 2004 e, embora tais políticas se concentrem na parte sul do estado, têm influenciado também as mesorregiões norte e nordeste, onde se encontra a área piloto de São Sebastião do Caí.

Na área de estudo, as silviculturas representam 21,6% da cobertura vegetal, espalhadas em pequenas propriedades por toda a área, em geral compondo a paisagem em conjunto com pastagens, culturas anuais e mata.

De acordo com Santos & Trevizan (2005), as ações de incentivo à produção florestal com espécimes exóticas são enviesadas por políticas imediatistas que visam alcançar o rápido desenvolvimento econômico de uma dada região, sem dispensar a adequada atenção aos impactos ambientais relacionados. Neste caso, um dos principais problemas associados ao cultivo do *Eucaliptus* sp., entre outras coníferas, é o grande consumo de água pelas mesmas, em função do rápido crescimento.

Segundo esses autores, estudos realizados ao redor do mundo indicaram redução entre 39% e 53% do volume de água disponível nos cursos próximos às plantações florestais, havendo

inclusive rebaixamento do nível freático, comprometendo a recarga de aquíferos e o abastecimento de cidades e sistemas de irrigação a jusante.

Além disso, as silviculturas também demandam mais nutrientes que a agricultura ou a floresta nativa, o que causa o rápido esgotamento do solo em função de alterações químicas e sequestro de nutrientes.

A Figura 1.32 ilustra a curva de crescimento de produção das silviculturas localizadas no estado e na área piloto. Observa-se que o estado manteve um ritmo acelerado de crescimento, entre 1994 e 2012, aumentando quase 10 vezes o valor produzido num período de 18 anos, com um proeminente pico em 2004 quando da implantação das políticas de incentivo à produção. Por outro lado, nos municípios que integram a área piloto, o quadro geral é de estabilidade entre 1994 e 2001, seguidos de um crescimento acelerado em função das políticas de incentivo à produção entre 2002 e 2004 e um novo quadro de estabilidade em um novo patamar.

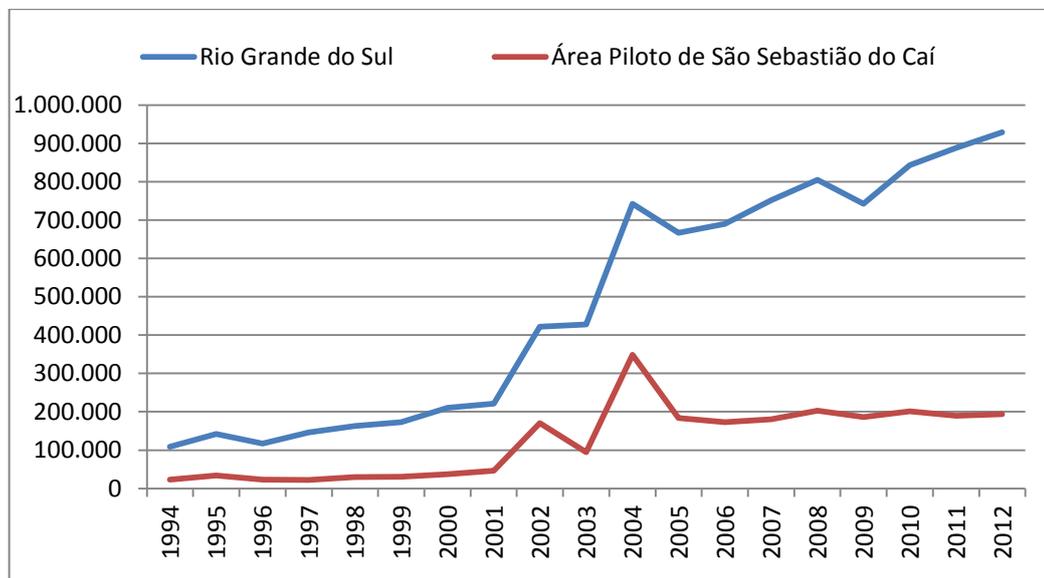


Figura 1.32 – Evolução do valor da produção de Silviculturas no Rio Grande do Sul e na Área Piloto de São Sebastião do Caí.

Fonte: IBGE, 2012 - Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura.

A grande área urbana ocupa 292,6 km² (4,8%) da área total do piloto. Essa superfície de grandes proporções é o resultado da presença de 39% da região metropolitana de Porto Alegre dentro da área piloto, estando a capital do estado a apenas 30 km de distância. Em geral, a ocupação urbana ocorreu nas encostas de relevo suavizado da depressão do rio Jacuí, que também foi local de implantação das principais rodovias que dão acesso à região.

Assim, o principal núcleo urbano da área piloto segue dois eixos rodoviários principais. O maior deles se estabeleceu ao longo da rodovia BR-116, com os municípios de Canoas, Esteio, Sapucaia do Sul, Novo Hamburgo, Campo Bom e Sapiranga, e o segundo eixo, localizado à leste da BR-116, ao longo da rodovia RS-239, através dos municípios de Nova Hartz, Parobé Taquara e Igrejinha.

Tais municípios têm suas áreas urbanas bastantes próximas umas das outras, ocorrendo conurbação em inúmeros locais, em um padrão tipicamente metropolitano, com variadas configurações ao longo do território, incluindo as construções verticalizadas típicas dos centros das cidades, e horizontalizadas à medida que as construções se afastam do centro, assim como a existência de construções subnormais, em maior ou menor grau, em praticamente todos os municípios supramencionados. Estas áreas são polarizadas por Porto Alegre, a capital do estado.

Além destes, outros núcleos importantes se encontram mais afastados, nos limites leste e oeste da área piloto, como é o caso de Santo Antônio da Patrulha, a leste, cujo acesso é pela rodovia RS-030, e Taquari e Teutônia, a oeste, cujo acesso é realizado através das rodovias RS-436 e BR-386, respectivamente.

Ainda em relação ao cerne das áreas urbanas, é preciso citar os 20 km² de áreas ocupadas por indústrias, um valor bastante significativo considerando que representa 0,3% da área piloto. Os pátios industriais estão localizados, principalmente, em Triunfo, Montenegro e Canoas, com indústrias relacionadas à transformação da madeira, indústria química e têxtil, segundo as informações obtidas junto ao IBAMA.

Em vista do tamanho, as duas refinarias encontradas na parte sul da área piloto foram classificadas separadamente, e somadas atingem 7,8 km², algo equivalente a 0,1% da área total. Trata-se da Refinaria Alberto Pasqualini – REFAP, localizada no município de Canoas e do polo Petroquímico do município de Triunfo, este último um dos maiores produtores de resinas termoplásticas do Brasil, atendendo os mercados automobilístico, de alimento e eletroeletrônico.

Há ainda uma porção de pequenas áreas de mineração que também foram identificadas durante o mapeamento. Juntas, essas áreas somam apenas 5,5 km² e representam 0,09% da área total. A maioria delas é composta de áreas de extração de areia, na margem dos grandes rios e, ocasionalmente, de extração de brita para construção, particularmente concentradas nas encostas da Serra Geral.

Foram mapeados 846,9 km² destinados ao desenvolvimento agrícola, o que representa 14% da área total. Deste total, 110,6 km² (1,8%) são áreas com plantio de culturas perenes e 736,3 km² (12,2%) com culturas anuais. Entre as culturas anuais presentes, foi possível discernir as plantações de arroz, que abrangem 202,1 km² (3,3%) da área total. Esse é um valor elevado, considerando que dentre o conjunto de culturas praticadas dentro da área piloto, 23% é composto apenas por plantações de arroz.

É importante destacar que o Rio Grande do Sul tem uma tradição bastante antiga no cultivo de arroz. Este produto teve importância histórica na formação social e econômica do estado, sendo que seu cultivo remonta ao início do século XX, estando diretamente ligado às consequências decorrentes da abolição da escravidão no Brasil. O Rio de Janeiro foi o principal estado afetado pelas mudanças no sistema de mão de obra, principalmente em decorrência

dos avançados estágios de esgotamento dos solos no Vale do Paraíba, em conjunto com a dificuldade financeira dos produtores em prover salários aos trabalhadores.

Segundo Beskow (1984), a abolição da escravidão tornou insustentável a manutenção dos cafezais fluminenses, que foram substituídos pelas plantações de café em São Paulo onde, além de haver fronteiras disponíveis para o plantio, já estava em curso uma série de experiências com o trabalho semiassalariado com mão de obra europeia. Isso levou a uma série de movimentos migratórios de negros em direção às grandes cidades, principalmente para a cidade do Rio de Janeiro, causando o esvaziamento do campo e, conseqüentemente, diminuição da produção rural.

Enquanto em São Paulo desenvolvia-se uma nova sociedade com afluxo de milhares de imigrantes oriundos da Itália, que propiciou um aumento no consumo de trigo e milho, no Rio de Janeiro a população manteve seus vínculos portugueses, sendo o arroz a base da dieta.

Neste período, o Rio Grande do Sul já havia aderido à mão de obra remunerada e não sentiu tão intensamente o impacto da mudança do sistema de trabalho e foi diretamente beneficiado pelas medidas protecionistas, com taxaço sobre o arroz importado para manter o consumo no mercado interno. Posto que o arroz é um cereal resistente para enfrentar as condições de transporte daquele período, ocorreu que o Rio Grande do Sul tornou-se o principal fornecedor de arroz para o Rio de Janeiro.

Desta forma, surgiu no Rio Grande do Sul uma agricultura especializada em atender o mercado interno com uma importante fonte de renda agrícola, surgindo um grupo de fazendeiros especializados neste cultivo, comerciantes, moleiros, atravessadores, intermediários, entre outros, propiciando todo um desenvolvimento regional, e tudo isso em um período bastante curto, como atesta a produção do cereal no período: entre 1906 e 1916, a produção saltou de 5.000 para 402.500 sacas de arroz (Beskow, 1984).

Atualmente, o Rio Grande do Sul segue como o maior produtor de arroz do país, concentrando 58% da produção anual (IBGE, 2012), localizada em grandes áreas no entorno dos lagos, lagoas e rios principais, relativamente próximos às grandes cidades, como é o caso das riziculturas dentro da área piloto.

Além do plantio de arroz, também se destacam as áreas ocupadas por policulturas, geralmente em propriedades com até 2 hectares, as quais ocupam 534,2 km², equivalentes a 8,9% da cobertura total. Tais culturas, em geral, ocupam os terrenos mais movimentados dos patamares da Serra Geral.

A produção de alguns desses produtos nos municípios que integram a área piloto detêm porcentagens elevadas quando comparadas ao total estadual, como é o caso do melão, com 34% e da cana forrageira, com 30%. Também são importantes as produções de sorgo (23%), cana-de-açúcar (18%), melancia (17%), batata-inglesa (15%), entre outros, além de uma participação menor de outros vegetais.

Em geral, as hortaliças são produzidas próximas de onde serão consumidas, principalmente em função da rapidez de sua deterioração. Como boa parte da área piloto está sobre a Região Metropolitana, é natural que os municípios periféricos integrem uma espécie de cinturão verde no entorno de Porto Alegre.

Desta forma, a participação desta área na produção das hortaliças, em relação ao total estadual é bem maior, chegando a 53% e 50% do total, no caso da berinjela e do milho, respectivamente. Além de muitos outros produtos que alcançam proporções elevadas em relação à produção estadual, caso do espinafre (47%), morango (34%), pepino (31%), alface (28%), couve (26%), cebola (20%), entre outros.

Dentre eles, o morango deve receber uma atenção especial, primeiro porque apesar de não possuir o maior volume produtivo de morango do Brasil, o município de Bom Princípio é conhecido como a “Terra do Morango”, em função de algumas festividades que são ali realizadas e da importância regional de sua produção, se estendendo para outros municípios do vale do Caí, como é o caso de Feliz e de São Sebastião do Caí.

Apesar disso, segundo Specht (2009), é comum serem noticiadas ocasiões em que os monitoramentos realizados por organismos de controle indicam altos níveis de elementos nocivos presentes na fruta, os quais são provenientes dos agroquímicos utilizados. Segundo a mesma autora, isso decorre de algumas práticas comuns ao trato com os morangos que não são características apenas dessa região. Tais práticas implicam que os agroquímicos estejam sendo utilizados efusivamente para o controle das diversas pragas que os molestam, como os pulgões e os ácaros, de forma a conseguir garantir uma safra elevada.

Nesta pesquisa, a autora destacou que, no vale do Caí, o cultivo do morango vem adotando diversos cuidados, entre eles, o principal é a utilização de agroquímicos registrados e o respeito aos períodos de carência, próprios da cultura, sendo inclusive, objeto de alguns programas, a supressão do uso de tais produtos.

A respeito das culturas perenes, vale destacar que, segundo Oliveira *et. al.* (2011) o Rio Grande do Sul é o quinto maior produtor de citros, com produção anual estimada em 537 mil toneladas produzidas em 420 km², concentradas principalmente nos vales do Caí e Taquari. Essas plantações estão nas mãos de pequenos proprietários, onde cerca de 10.000 produtores realizam suas produções em áreas entre 0,5 e 2 hectares com estrutura predominantemente familiar (Panzenhagen, 2004).

As culturas perenes nesta região são, em geral, pomares para a produção de citros, ou seja, laranja, tangerina, limão e pomelo, favorecidas principalmente pelas condições do solo e proximidade com rios caudalosos e importantes, tal como o rio Caí. No caso da área piloto são 110,6 km² ocupados por culturas perenes, o que perfaz 1,8% da área mapeada. E dada a produção, não é por acaso que São Sebastião do Caí é conhecido como a “Terra da Bergamota” (conhecida por tangerina ou mexerica em outras partes do país).

A irrigação, em geral, traz como benefício o fato de regularizar a disponibilização de água para as culturas. No mapeamento de uso e ocupação da terra também foram identificados alguns locais com barramentos de água, cujo objetivo é criar reservas para irrigação, situados no talvegue das drenagens, assim como açudes, cuja fonte é basicamente a água oriunda das chuvas e do próprio nível freático, quando está elevado.

Sobre esta questão e de acordo com os dados do Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2007) constatou-se que, dentre os municípios do piloto, Santo Antônio da Patrulha é o que detém a maior área irrigada, com 83,3 km², o que representa 38% do total.

Em aproximadamente 83% da área irrigada o método utilizado é de inundação, aplicado em sua maioria à área cultivada com arroz, seguido pelo método de aspersão, com 12% e o gotejamento, com 4%, sendo que a pequena área restante se utiliza de outros métodos.

A área piloto é um forte produtor de arroz e hortaliças que utilizam intensamente os agroquímicos e, do ponto de vista da contaminação do aquífero, essas culturas encontradas na área piloto de São Sebastião do Caí possuem similaridades quanto aos procedimentos de adubagem e ao uso de pesticida.

Segundo o IBGE (2007), a maioria dos agrotóxicos é aplicada manualmente pelo agricultor por meio de pulverizador costal, como é típico das estruturas menores, familiares. Tais aparelhos são mais difíceis de serem controlados que os métodos regionais, tendo em vista a dificuldade de fiscalizar, além de ser comum o problema de superdosagem do produto. Contudo, tem a vantagem de não dispersar o agroquímico no ar e aplicá-lo apenas localmente.

Em 2012, segundo levantamento do SINDIVEG, as plantações de arroz irrigado no Rio Grande do Sul receberam 12.336 toneladas de material pesticida, que representa 1,5% de todo material utilizado no Brasil. As horticulturas e fruticulturas, de maneira geral, demandaram menos compostos, num total de 5.171 toneladas e 3.498 toneladas, respectivamente, que representa 0,6% e 0,4% do total. Isso é mais grave quando se considera a característica submersa do cultivo do arroz e a proximidade com os cursos de água na sua produção. A mesma compilação indica que o Rio Grande do Sul é o sexto maior consumidor de agroquímicos no contexto nacional.

Nessa direção, o Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2007) detalha que mais de 96% dos produtores de morango utilizaram algum tipo de agroquímico nas culturas existentes nos municípios da área piloto. Isso é particularmente preocupante não apenas pela possibilidade de poluição dos solos, dos rios e das águas subterrâneas, mas também como um caso de saúde pública, uma vez que os morangos têm facilidade para assimilar os compostos.

Na sistematização de compostos utilizados nas principais culturas, realizado pela SEAB-PR, é possível constatar que enquanto existem apenas 21 diferentes produtos para utilização na defesa das plantações de arroz irrigado, 73 produtos são utilizados para as plantações de morango, sendo que nenhum deles é comum às duas plantações.

Um estudo realizado por Barigossi *et al.* (2004) para a produção de arroz no Brasil, no período de 1997 a 2002, mostrou que o arroz irrigado, como é o caso de toda a produção na área de estudo, apresentou o maior consumo de agroquímico. Os autores, contudo, revelaram que mesmo aumentando em 166% o consumo destes produtos no período, a produtividade cresceu apenas 10,3%. Estudos desse tipo incentivam uma série de medidas para reduzir os gastos com agroquímicos, uma vez que o uso deles não reverbera, necessariamente, no incremento da produção. Exemplo dessas práticas é a rizipiscicultura apresentada por Ribeiro *et al.* (2005), na qual a criação de peixes ocorre concomitante à cultura de arroz, e os refugos de um são o alimento/adubo do outro.

Com menor proporção de área, os campos úmidos perfazem 0,9%, com 56,6 km², ao passo que os rios e lagos, representam 61,4 km², ou 1% da área piloto, com especial destaque para o Rio Caí e Rio dos Sinos e seus principais afluentes.

Por fim, a classe com a menor representação no mapeamento elaborado foi o solo exposto, que recobre área de apenas 3,2 km², em pequenos espaços espalhados por todo o mapeamento. Em geral, estão associados à mineração desativada ou aterros não controlados.

1.4 CADASTRO DE FONTES POTENCIAIS DE CONTAMINAÇÃO

1.4.1 Fontes potenciais pontuais de contaminação

As fontes 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 (Petrobrás);
- ✓ 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 (FEPAM-RS);
- ✓ Cadastro técnico federal de atividades potencialmente poluidoras ou utilizadoras de recursos ambientais do IBAMA.

O cadastro de destinação de resíduos sólidos do Atlas de Saneamento do IBGE (2011), elaborado com dados de 2008, aponta a existência de 325 pontos de descarte representados por aterros controlados, aterros sanitários, unidades de triagem e reciclagem e lixões nas áreas

do SAG no Rio Grande do Sul, dos quais 42 se encontram nos municípios que compõem a área-piloto estudada, sendo um para cada município, conforme Figura 1.33.

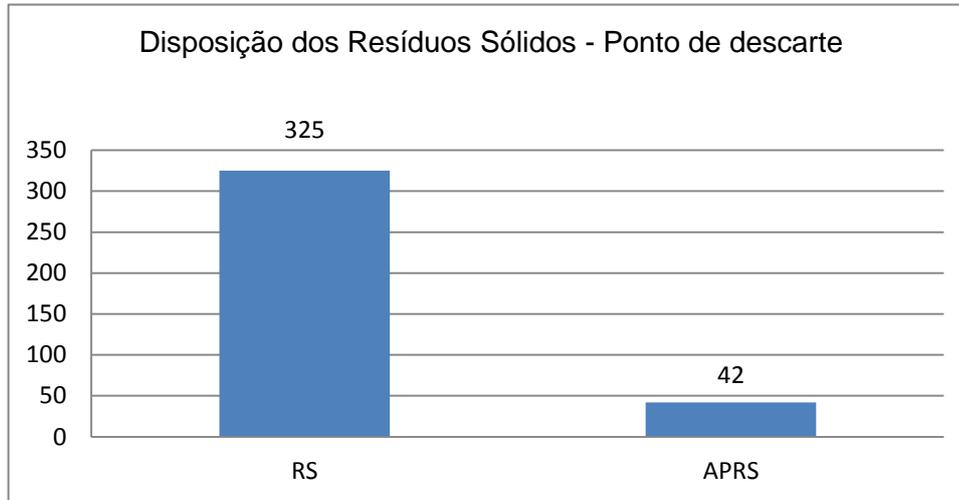


Figura 1.33 – Disposição de resíduos sólidos

A Figura 1.34 apresenta os pontos de descarte distribuídos de acordo com a forma de disposição dos resíduos sólidos na área piloto de São Sebastião do Caí. Observa-se que a maior parte dos municípios tem dois ou mais destinos para a disposição de tais resíduos, nove possuem apenas aterro sanitário e apenas São Francisco de Paula aparece com aterro controlado. Araricá é o único município cadastrado com uma unidade de triagem e reciclagem.

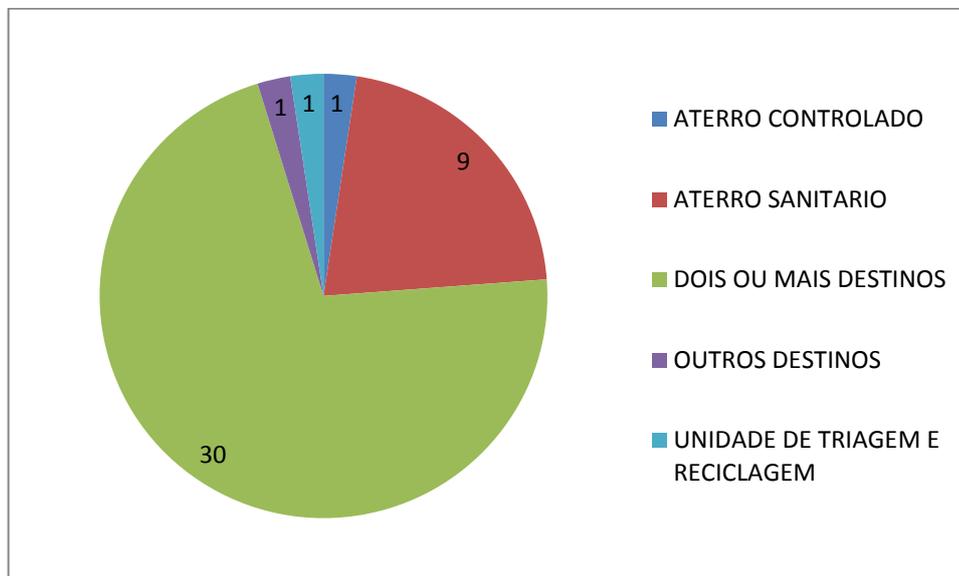


Figura 1.34 – Disposição de resíduos sólidos nos municípios da Área Piloto de São Sebastião do Caí

De acordo com informações da Petrobras, existem 142 postos de combustíveis localizados no Rio Grande do Sul, sendo que 62 estão localizados na área piloto de São Sebastião do Caí (Figura 1.35).

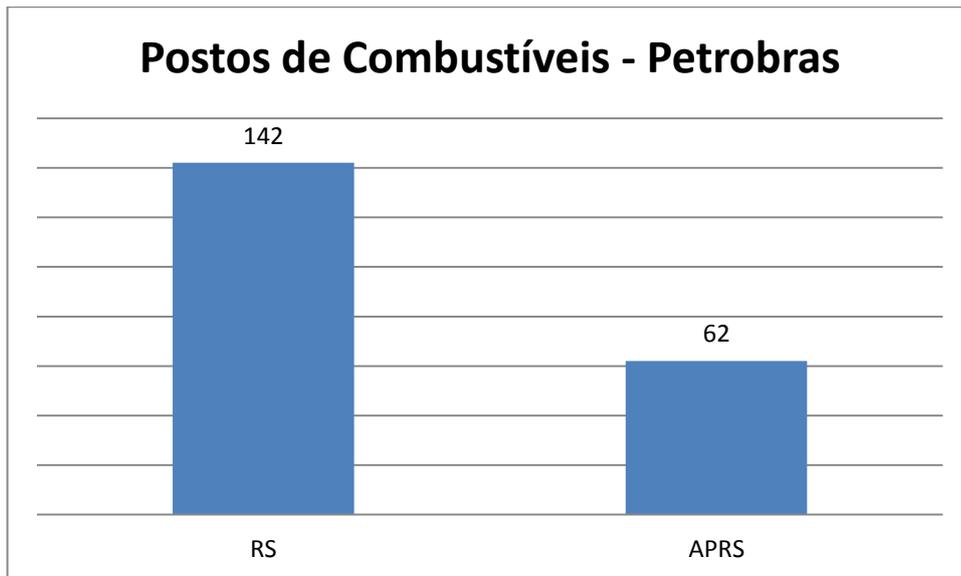


Figura 1.35 – Cadastro de postos de combustíveis (Petrobrás, 2013).

Foram identificados 137 cemitérios em municípios situados na área aflorante do SAG no estado de Rio Grande do Sul com a utilização de imagens do *Google Earth*, dos quais 59 localizam-se na área do piloto (Figura 1.36).

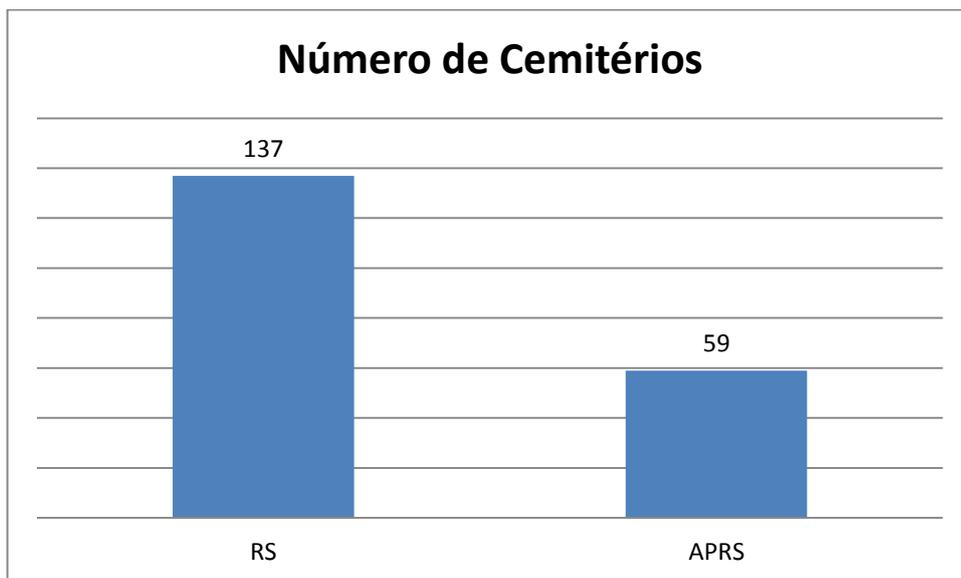


Figura 1.36 – Cemitérios identificados na região do SAG e da Área Piloto de São Sebastião do Caí.

Segundo informações do INPEV, existem 17 postos de recebimento de embalagens de agrotóxicos no estado do Rio Grande do Sul, mas nenhum deles se encontra na área piloto.

O cadastro de empreendimentos potencialmente poluentes da FEPAM apontou 4.415 empreendimentos potencialmente poluentes no estado do Rio Grande do Sul, agrupados em 265 classes de atividades. Dentre estes empreendimentos, 2.184 estão localizados nos municípios da área piloto de São Sebastião do Caí (Figura 1.37).

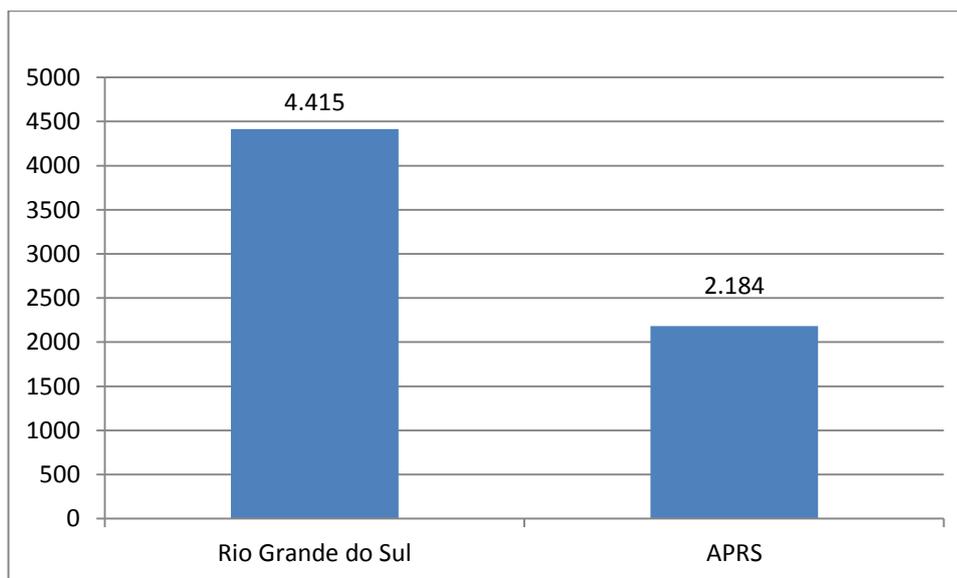


Figura 1.37 – Número de empreendimentos potencialmente poluentes cadastrados no Rio Grande do Sul e na área piloto. (Cadastro da FEPAM).

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 1.5). A Instrução Normativa nº 31, de 3 de dezembro 2009, apresenta complementação para o enquadramento de atividades do Cadastro Técnico Federal.

De acordo com o Cadastro Técnico Federal, foram identificados 4.215 empreendimentos potencialmente contaminantes de recursos ambientais, distribuídos em 16 classes (identificadas em negrito no Quadro 1.5), em 41 municípios inseridos, total ou parcialmente, na área piloto de São Sebastião do Caí.

Como dito, as atividades potencialmente poluidoras da FEPAM estão agrupadas em 265 classes, ao passo que no IBAMA estas atividades estão agrupadas em 20 categorias principais. Em vista da falta de uniformidade e padronização de atividades, e com o objetivo de realizar uma comparação entre os dois cadastros, foi realizado um reenquadramento das classes de atividades da FEPAM nas categorias listadas pelo IBAMA, cujo resultado é mostrado na Figura 1.38.

QUADRO 1.5 – CLASSIFICAÇÃO DE ATIVIDADES POTENCIALMENTE CONTAMINANTES E GRAU DE RISCO ASSOCIADO (LEI Nº 10.165/2000)

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

* Instrução Normativa nº 31 ** Categorias que aparecem apenas nos dados estaduais da FEPAM

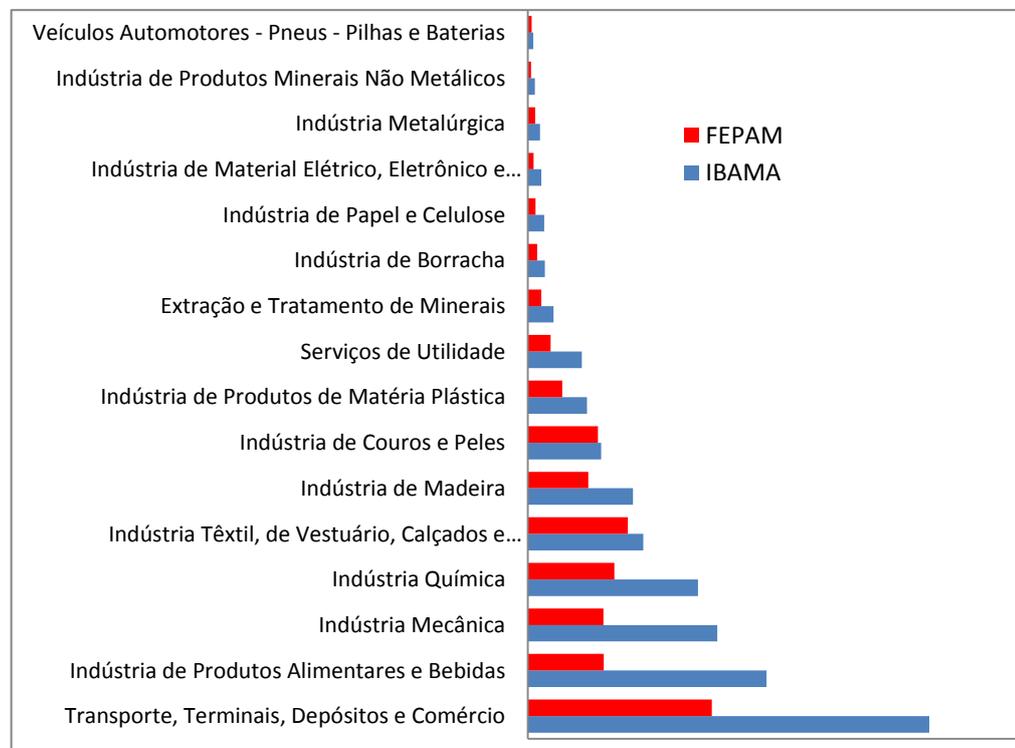


Figura 1.38 – Número de empreendimentos potencialmente contaminantes por classe de enquadramento de risco, na área piloto de São Sebastião do Caí, segundo cadastros da FEPAM e IBAMA.

Com base neste reenquadramento de atividades, as classes de indústria têxtil e afins (1.456), indústria madeireira (860), e transporte, terminais e depósitos (540) são as que apresentam maior quantidade de empreendimentos cadastrados no IBAMA, ao passo que as classes de transporte, terminais e depósitos (984), indústria de produtos alimentares (585) e indústria mecânica (464) são as que apresentam maior quantidade de empreendimentos cadastrados na FEPAM. A partir desta comparação, conclui-se que a classificação de atividades potencialmente poluentes mostrará resultados diferentes, conforme o uso de um ou de outro cadastro.

A classificação das fontes potenciais de poluição quanto ao risco de contaminação ou grau de perigo em função do impacto da atividade econômica exercida foi feita pelo 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 1.6 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 1.6 – CLASSIFICAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE CARGA CONTAMINANTE EM ÁREAS INDUSTRIAIS

<i>Potencial de geração de carga contaminante no subsolo em áreas industriais (Foster et al. 2006)</i>	
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 (Quadro 1.7).

QUADRO 1.7 – CLASSIFICAÇÃO COMPARATIVA DE ATIVIDADES POTENCIALMENTE POLUIDORAS OU UTILIZADORAS DE RECURSOS NATURAIS

Código	Atividades	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
4	Indústria Mecânica	Médio	Elevado
5	Indústria de Material Elétrico, Eletrônico e Comunicações	Médio	Elevado
6	Indústria de Material de Transporte	Médio	Elevado
7	Indústria de Madeira	Médio	Reduzido
8	Indústria de Papel e Celulose	Alto	Moderado
9	Indústria de Borracha	Pequeno	Moderado
10	Indústria de Couros e Peles	Alto	Moderado
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 dos riscos potenciais de contaminação por fontes pontuais cadastradas no IBAMA e na FEPAM, classificadas segundo o método POSH, mostrou equivalência relativa em termos percentuais (Figura 1.39). A distribuição de riscos mostra que, segundo o IBAMA, 54,7% dos empreendimentos potencialmente contaminantes na área piloto estão classificados como médio risco e 40% estão classificados como alto risco, ao passo que as mesmas classes apontam 49% e 45%, respectivamente, para os dados apresentados pela FEPAM.

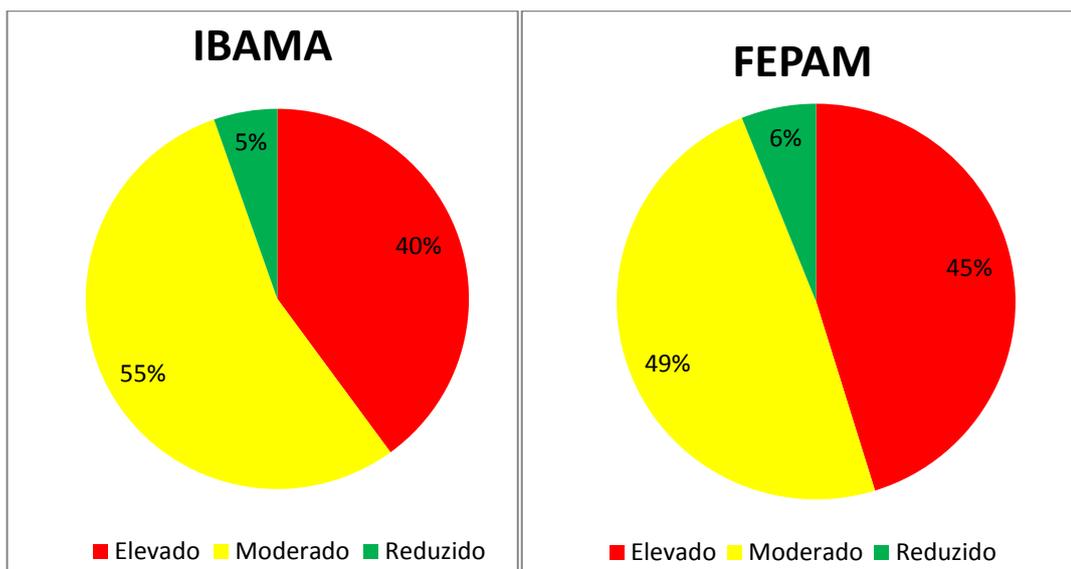


Figura 1.39 – Riscos Potenciais na Área Piloto em relação aos empreendimentos pontuais potencialmente contaminantes.

Para o caso específico do município de São Sebastião do Caí, o IBAMA aponta 21 fontes potenciais de alto grau de risco, principalmente transporte, terminais, depósitos e comércios (15), e indústria metalúrgica (4); e 42 fontes potenciais de médio grau de risco, principalmente a indústria de madeira (21), seguida das indústrias de produtos minerais não-metálicos (10) e da indústria têxtil (7).

Já a FEPAM aponta 15 fontes potenciais de alto grau de risco no município de São Sebastião do Caí, nas categorias de transporte, terminais, depósitos e comércios (10), indústria química (3) e extração e tratamento de minerais (2); e 22 fontes potenciais de médio grau de risco, principalmente as categorias de indústria mecânica (8) e indústria de produtos alimentares e bebidas (6).

Apesar da aparente equivalência entre os riscos potenciais de atividades cadastradas no IBAMA e FEPAM (Figura 1.39), o problema de compatibilização entre os diversos cadastros, no que se refere à dificuldade de se agrupar diferentes classes de atividades em classes comuns a todos, pode gerar graves distorções quando da avaliação e classificação de fontes pontuais de contaminação.

De todos os cadastros 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, os quais também podem ser ajustados para o método POSH. Por esta razão, o CTF foi eleito para confecção do mapa de classificação de fontes potenciais pontuais de contaminação na área piloto de São Sebastião do Caí.

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 Sebastião do Caí 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 apresentadas 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 1.8). As informações sobre o atendimento de esgoto e a densidade demográfica dos municípios envolvidos foram obtidas em consulta ao Censo Demográfico (IBGE, 2010).

QUADRO 1.8 – CLASSIFICAÇÃO DO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DO SANEAMENTO IN SITU NA ÁREA PILOTO, SEGUNDO MÉTODO POSH

<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/há	Moderado
Cobertura da rede de esgoto <25% e densidade populacional >100 pessoas/ha	Elevado

Fonte: Modificado de Foster et al., 2006

O Quadro 1.9 apresenta a síntese da classificação do saneamento *in situ* da área piloto de São Sebastião do Caí, segundo o método POSH (Foster *et al.*, 2006). Este quadro mostra que quase 95% dos municípios da área piloto de São Sebastião do Caí apresentaram potencial moderado de contaminação em relação ao saneamento *in situ*. Isto ocorre dada a característica da cobertura da rede de esgoto, que nesta região é bastante baixa, com uma média de apenas 26,2% de atendimento, e a baixa densidade populacional, apresentando assim, um quadro geral de potencial moderado para geração de carga contaminante nas águas subterrâneas. Ressalta-se que apenas três municípios apresentaram potencial reduzido de contaminação, a saber, Cachoeirinha, Campo Bom e São Leopoldo.

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 1.40.

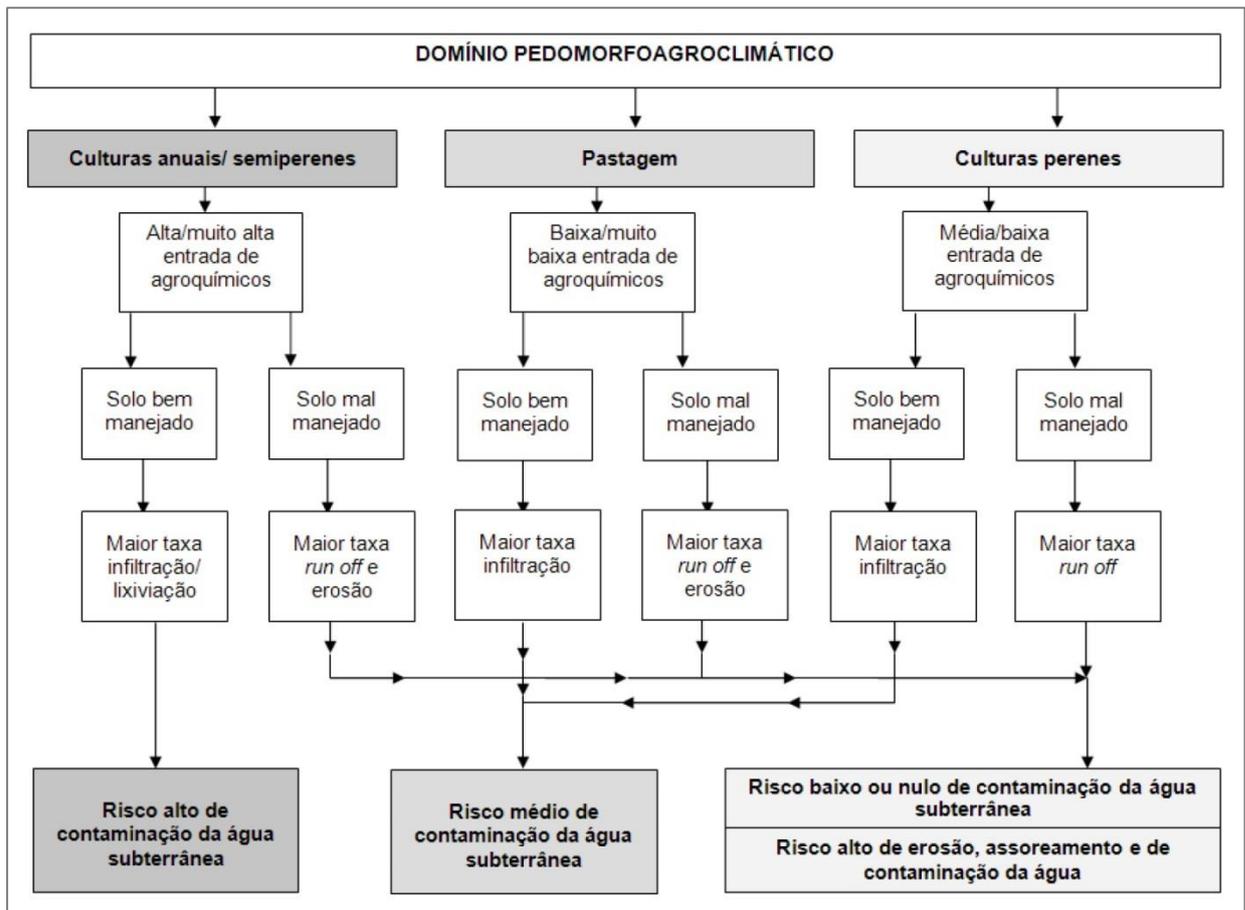


Figura 1.40 – Determinação do Risco de Contaminação da Água Subterrânea (Gomes, 2008, apud Barbosa *et al.* 2011).

QUADRO 1.9 – SÍNTESE DOS DADOS DE SANEAMENTO IN SITU DA ÁREA PILOTO

Município	Índice de Abastecimento de Esgoto (IBGE)	Habitantes em Áreas Urbanas (IBGE)	Área (ha)	Densidade Demográfica (hab/ha)	POSH	Município	Índice de Abastecimento de Esgoto (IBGE)	Habitantes em Áreas Urbanas (IBGE)	Área (ha)	Densidade Demográfica (hab/ha)	POSH
Araricá	32%	3.996	851,9	4,7	Moderado	Novo Hamburgo	56%	233.602	10.275,5	22,7	Moderado
Bom Princípio	0%	9.181	2.249,2	4,1	Moderado	Pareci Novo	0%	981	175,7	5,6	Moderado
Bom Retiro do Sul	13%	9.114	999,5	9,1	Moderado	Parobé	66%	48.475	4.255,9	11,4	Moderado
Brochier	0%	2.266	843,7	2,7	Moderado	Paverama	1%	4.080	807,5	5,1	Moderado
Cachoeirinha	81%	118.036	4.401,8	26,8	Reduzido	Picada Café	2%	4.533	3.483,1	1,3	Moderado
Campo Bom	77%	57.128	2.439,8	23,4	Reduzido	Portão	38%	25.100	1.713,3	14,7	Moderado
Canoas	68%	322.984	13.109,7	24,6	Moderado	Presidente Lucena	5%	1.510	520,7	2,9	Moderado
Capela de Santana	31%	6.915	580,8	11,9	Moderado	Riozinho	2%	2.730	855,9	3,2	Moderado
Caraá	0%	1.050	897,5	1,2	Moderado	Rolante	15%	15.278	3.797,5	4	Moderado
Cruzeiro do Sul	1%	7.430	1.501,9	4,9	Moderado	Salvador do Sul	2%	3.940	261,5	15,1	Moderado
Dois Irmãos	57%	27.178	5.372,4	5,1	Moderado	Santa Maria do Herval	0%	4.356	3.470,7	1,3	Moderado
Estância Velha	25%	41.424	3.136,9	13,2	Moderado	Santo Antônio da Patrulha	15%	27.962	9.819,8	2,8	Moderado
Esteio	61%	80.334	1.785,8	45	Moderado	São Francisco de Paula	36%	12.964	904,2	14,3	Moderado
Estrela	0%	25.806	2.902,3	8,9	Moderado	São José do Hortêncio	5%	2.644	446,9	5,9	Moderado
Fazenda Vilanova	1%	2.013	407,4	4,9	Moderado	São José do Sul	1%	720	360,6	2	Moderado
Feliz	0%	9.402	1.974,8	4,8	Moderado	São Leopoldo	77%	212.359	7.850,1	27,1	Reduzido
General Câmara	0%	4.965	599,5	8,3	Moderado	São Sebastião do Caí	51%	17.546	2.721,1	6,4	Moderado
Glorinha	3%	2.066	149,1	13,9	Moderado	Sapiranga	66%	72.204	2.768,9	26,1	Moderado
Gravataí	5%	242.983	15.847,2	15,3	Moderado	Sapucaia do Sul	68%	130.162	4.648,6	28	Moderado
Harmonia	7%	2.453	406,2	6	Moderado	Tabaí	0%	1.246	320,2	3,9	Moderado
Igrejinha	35%	30.075	3.447,6	8,7	Moderado	Taquara	46%	44.854	5.833,3	7,7	Moderado
Ivoti	9%	17.970	1.125,5	16	Moderado	Taquari	8%	21.866	2.149,5	10,2	Moderado
Lindolfo Collor	16%	4.279	577,1	7,4	Moderado	Teutônia	2%	23.242	3.098,5	7,5	Moderado
Maratá	2%	751	353,6	2,1	Moderado	Três Coroas	17%	20.446	1.466,8	13,9	Moderado
Montenegro	59%	53.313	14.653,4	3,6	Moderado	Triunfo	26%	16.831	10.017,5	1,7	Moderado
Morro Reuter	8%	4.837	3.235,0	1,5	Moderado	Tupandi	8%	2.721	598,4	4,5	Moderado
Nova Hartz	37%	15.268	1.243,1	12,3	Moderado	Venâncio Aires	34%	41.117	3.630,0	11,3	Moderado
Nova Santa Rita	28%	19.456	5.089,0	3,8	Moderado						

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 Sebastião do Caí, o qual delimitou três classes principais de atividades agrícolas: cultura anual, cultura perene e campo/pastagem, como ilustra Quadro 1.10.

QUADRO 1.10 – PRINCIPAIS CLASSES DE ATIVIDADES AGRÍCOLAS NA ÁREA PILOTO

<i>Cultura anual</i>	<i>Cultura perene</i>	<i>Campo/pastagem</i>
Arroz	Silvicultura, Citros	Pastagem

Ressalta-se que as informações sobre as atividades agrícolas predominantes na área piloto foram baseadas além do mapa de uso e ocupação da terra, também em consultas ao Censo Agropecuário (IBGE, 2006); Produção da Pecuária Municipal (IBGE, 2012); e Produção Agrícola Municipal (IBGE, 2011).

O mapeamento de uso e ocupação da terra da área piloto indicou as pastagens extensivas e a agricultura como usos dominantes. Dentre os usos agrícolas, as culturas anuais foram predominantes, entre as quais o destaque ficou com a produção de arroz. Também houve uma participação significativa de culturas perenes, e a produção de citros tem forte presença.

O Quadro 1.11 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 1.11 – PROPOSTA DE 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
Culturas perenes	Moderado

Fonte: Adaptado de GOMES, 2008

É importante destacar que na área piloto de São Sebastião do Caí os casos potenciais mais graves de contaminação difusa de água subterrânea, classificada com elevado potencial de carga contaminante, ficam por conta das culturas anuais, como apresentado no Quadro 1.11. Estas atividades agrícolas, através dos cultivos rotativos, principalmente no caso do arroz que é irrigado e geralmente localizado nas proximidades dos grandes rios, 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 espalhadas por toda a área piloto, e aparecem mais concentradas nas direções de sudeste, centro e sudoeste.

O Quadro 1.12 apresenta uma síntese dos dados de uso e ocupação da terra classificados segundo o potencial de contaminação na área piloto.

QUADRO 1.12 – SÍNTESE DA CLASSIFICAÇÃO DO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA ÁREA PILOTO

	<i>Classe</i>	<i>Elevado (área km²)</i>	<i>Moderado (área km²)</i>	<i>Reduzido (área km²)</i>	<i>Sem classificação (área km²)</i>	<i>Total (km²)</i>
Área Piloto de São Sebastião do Caí	Culturas Anuais	736,3	-	-	-	736,3
	Culturas Perenes	-	110,6	-	-	110,6
	Pastagens	-	1.801	-	-	1.801
	Silvicultura	-	1.305,1	-	-	1.305,1
	Outras classes	27,8	-	292,6	1.761,8	2.082,2
Área Total com Potencial de Contaminação		764,1	3.216,7	292,6	-	4.273,4
Área Piloto de São Sebastião do Caí - Total		764,1	3.216,7	292,6	1.761,8	6.035,2

Observação: Por "outras classes" compreende 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 para de Potencial de Contaminação com uma cor neutra.

O Quadro 1.12 mostra que em decorrência dos tipos de uso da terra praticados na área piloto, mais de 75,3% das áreas apresentam moderado potencial para geração de carga contaminante no subsolo ao passo que apenas 6,8% foi classificada com potencial reduzido.

Cabe ressaltar que alguns tipos de uso, assim como as vastas áreas dedicadas às culturas anuais, principalmente aquelas ligadas às grandes áreas para cultivo do arroz irrigado, nas proximidades dos grandes rios, principalmente ao centro e ao leste da área piloto, proporcionam um risco maior de contaminação da água subterrânea. Em torno de 17,9% da área piloto apresentam elevado potencial de contaminação.

O mapa de fontes potenciais difusas por atividade agrícola da área piloto de São Sebastião do Caí é apresentado nas Figuras 1.41 a 1.43.

Vale salientar que a classificação do potencial de contaminação em função do uso e ocupação da terra não contempla classes específicas, como os corpos d'água e as classes de vegetação. As classes não contempladas pelo método foram nomeadas como não classificadas. A continuidade dos estudos sobre influência das práticas agrícolas e da aplicação de agroquímicos no solo deverá complementar a classificação atual.

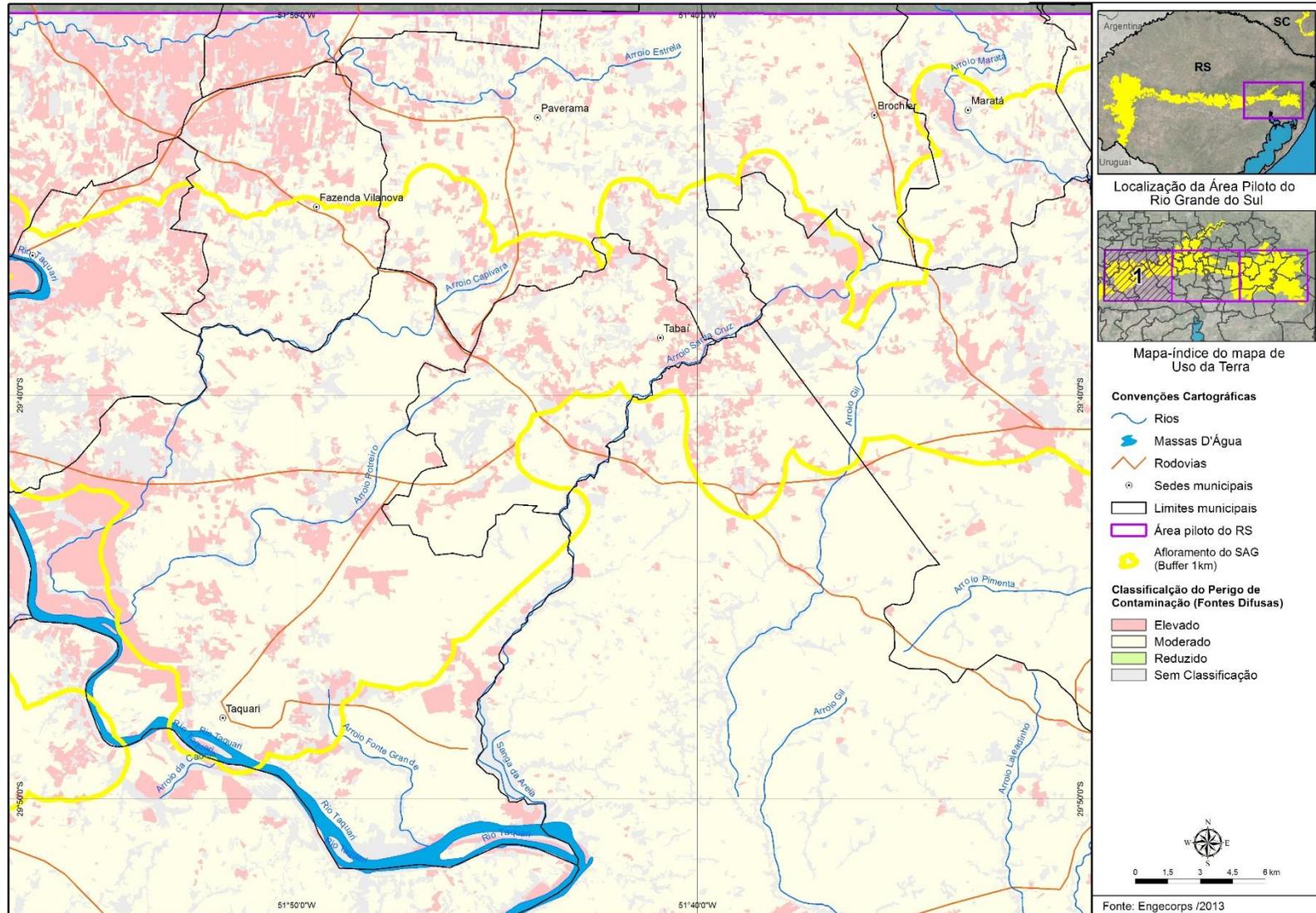


Figura 1.41 – Mapa de Fontes Potenciais Difusas da Área Piloto de São Sebastião do Caí - Folha 1/3.

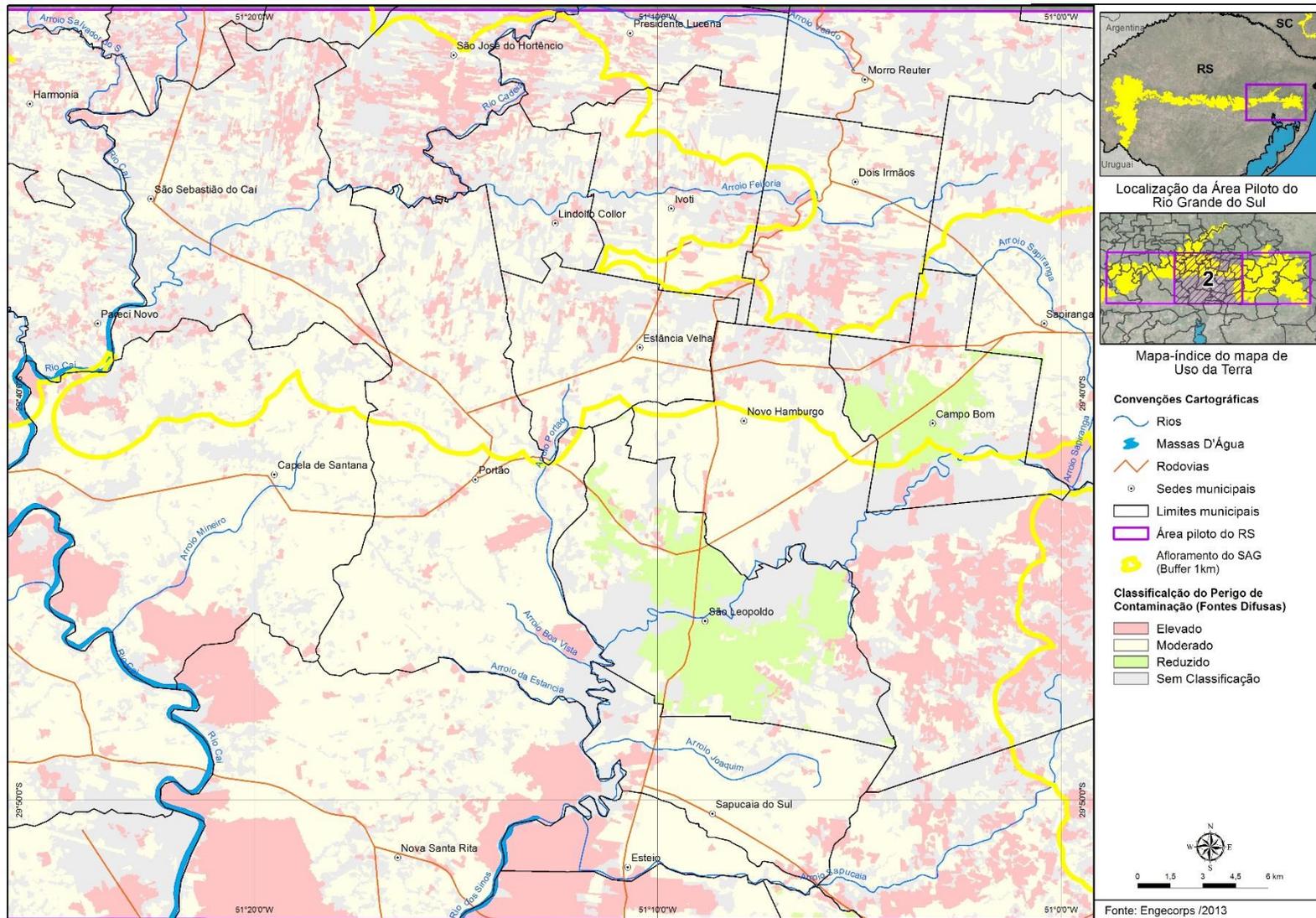


Figura 1.42 – Mapa de Fontes Potenciais Difusas da Área Piloto de São Sebastião do Caí - Folha 2/3.

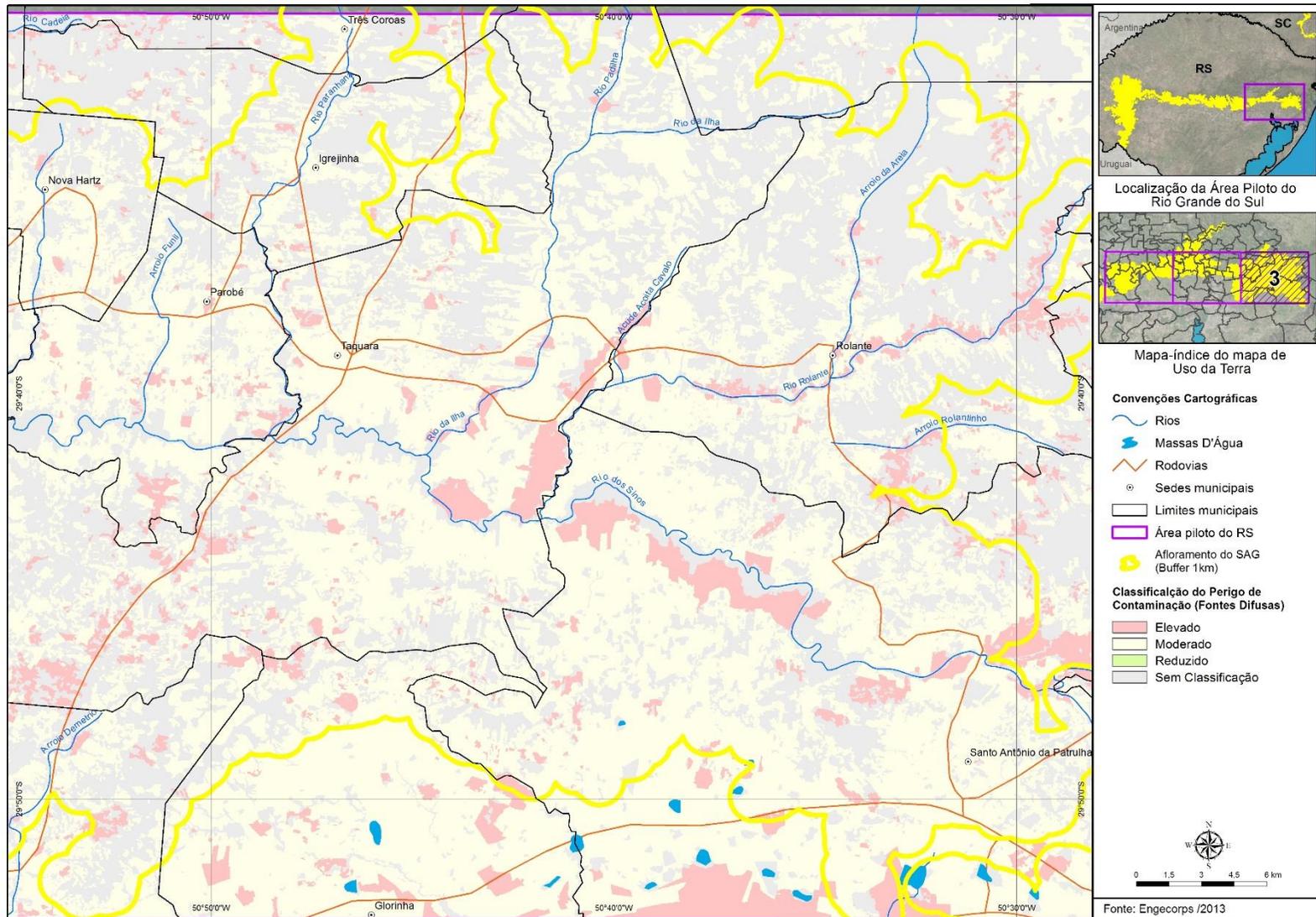


Figura 1.43 – Mapa de Fontes Potenciais Difusas da Área Piloto de São Sebastião do Caí - Folha 3/3.

1.5 HIDROQUÍMICA DO SAG NA ÁREA PILOTO DE SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ

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 do SAG na área piloto de São Sebastião do Caí compreendeu 24 pontos de coleta de águas subterrâneas em poços tubulares localizados em 16 municípios do Rio Grande do Sul. 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 (Figuras 1.44 e 1.45 e Quadro 1.13). As análises hidroquímicas foram repetidas nas duas campanhas, e as demais, considerando os parâmetros específicos, foram realizadas apenas na segunda campanha. O Quadro 1.14 lista os tipos de análise e parâmetros quantificados no estudo.

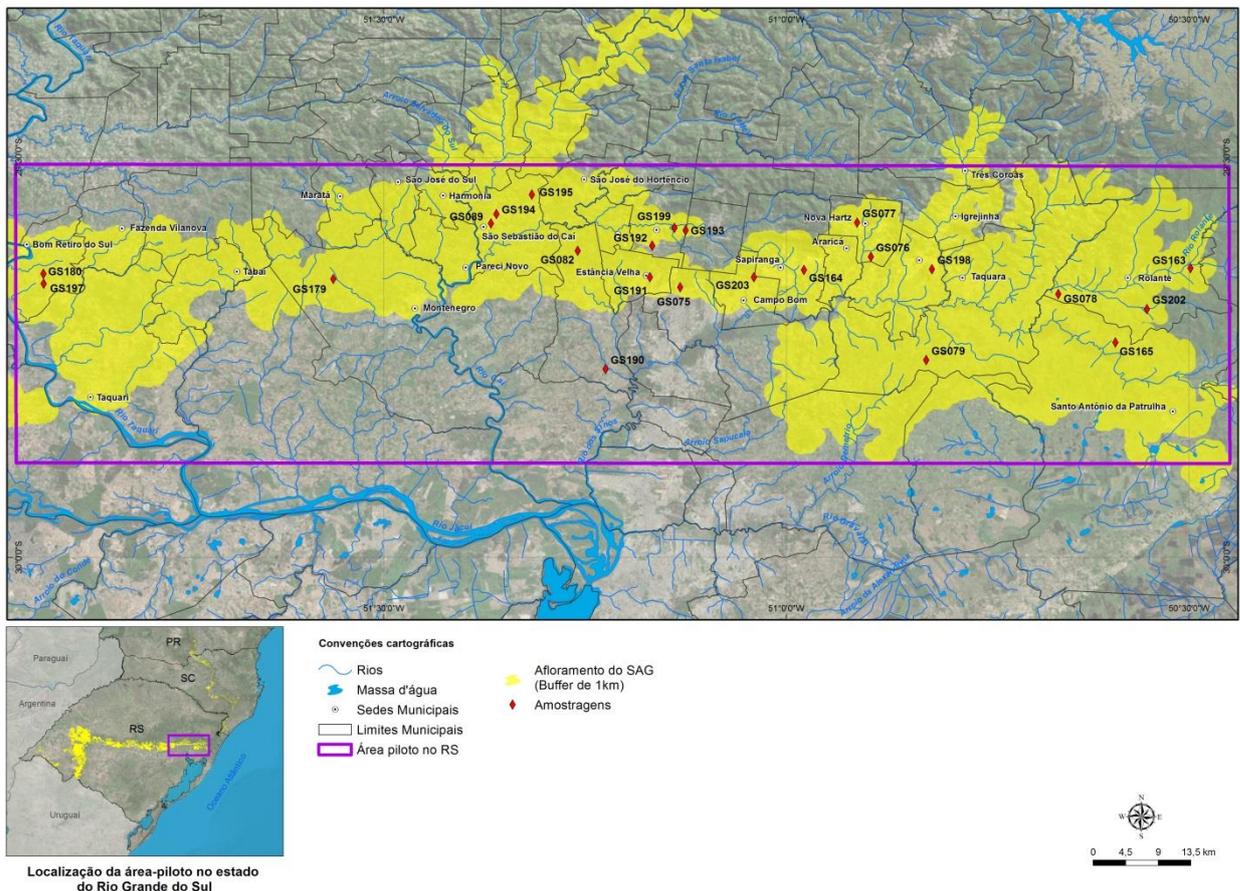


Figura 1.44 - Localização dos pontos amostrados para análises hidroquímicas na área piloto de São Sebastião do Caí (RS) – Campanhas 1 e 2.

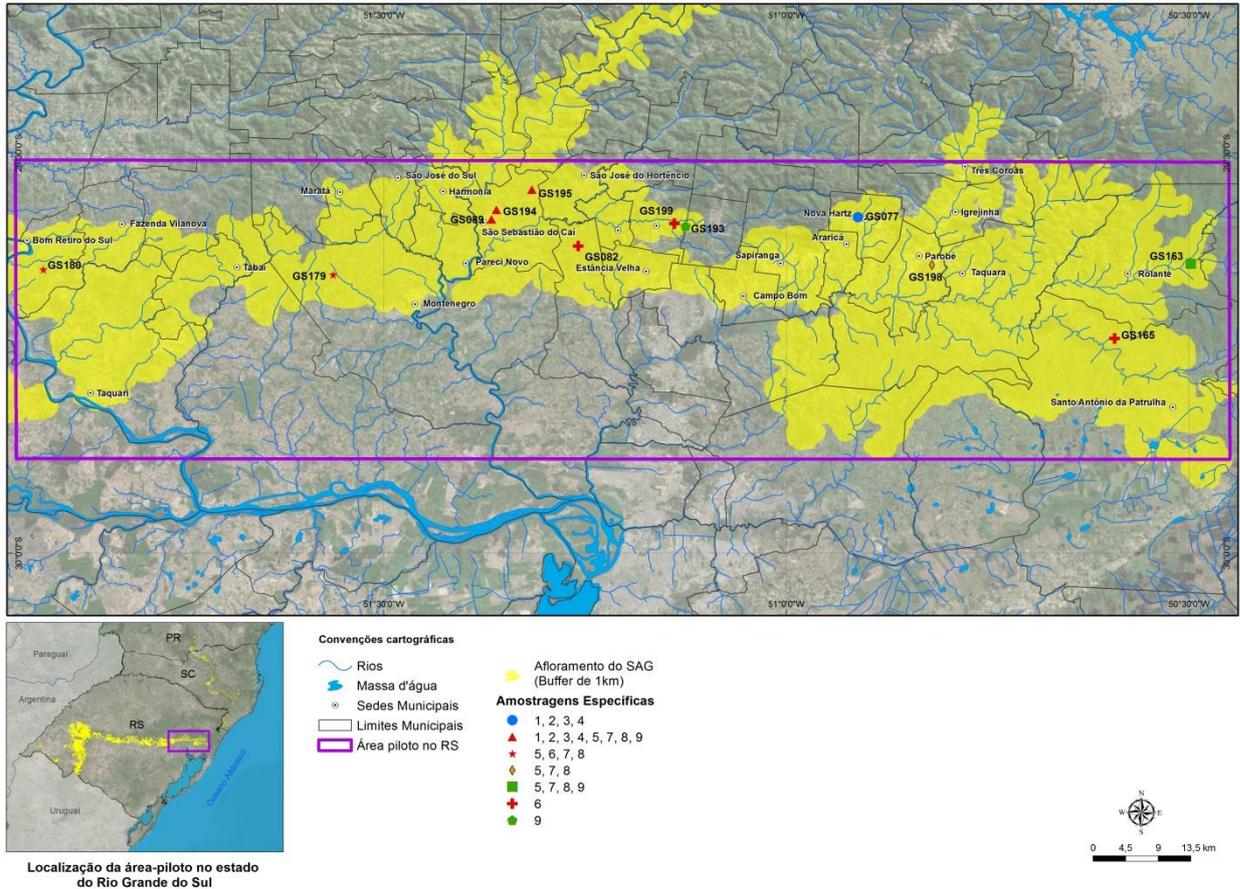


Figura 1.45 - Localização dos pontos amostrados para análises específicas (Agrotóxicos, Metais Pesados, Índice de Fenóis, BTEX, Microbiológicas, Isótopos estáveis (¹⁸O e ²H), Estrôncio (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr) e Trítio (³H) na área piloto de São Sebastião do Caí (RS) – Campanha 2.

QUADRO 1.13 – TIPOS DE ANÁLISES E PARÂMETROS QUANTIFICADOS

Parâmetros de análise	
Tipo	Parâmetros
Hidroquímicas	Temperatura, condutividade elétrica, pH, Eh, cor, turbidez, dureza, STD
	Sódio, potássio, cálcio, magnésio, ferro e manganês
	Cloreto, sulfato, fluoreto, carbonato e bicarbonato
	Amônia, nitrito e nitrato
Derivados de petróleo	Btex, fenóis
Metais pesados	Bário, Níquel, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, Arsênio, Estrôncio e Zinco
Isótopos	Oxigênio (¹⁸ O), Deutério (² H), Trítio (³ H) e Estrôncio (⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr)
Agroquímicos	Grupo 1 (Glifosato), Grupo 2 (2,4-D; Atrazina) Grupo 3 (Metamidofós; Carbendazim)
	Grupo 4 (Acefato) E Grupo 5 (Cipermetrina)
Bacteriológicas	Coliformes fecais e totais

QUADRO 1.14 – IDENTIFICAÇÕES DAS AMOSTRAS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA COLETADAS NA ÁREA PILOTO DO RIO GRANDE DO SUL

<i>ID</i>	<i>ID - Cadastro de Campo</i>	<i>Município</i>
GS075	0532S	NOVO HAMBURGO
GS076	0613S	NOVA HARTS
GS077	0805S	NOVA HARTS
GS078	0522S	ROLANTE
GS079	0411S	TAQUARA
GS082	1776S	PORTÃO
GS089	0801S	SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ
GS163	0578S	ROLANTE
GS164	1713S	SAPIRANGA
GS165	1457S	SANTO ANTÔNIO DA PATRULHA
GS179	9	MONTENEGRO
GS180	RS_013	BOM RETIRO DO SUL
GS190	7	PORTÃO
GS191	553	ESTÂNCIA VELHA
GS192	669	IVOTI
GS193	0757S	IVOTI
GS194	0851S	SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ
GS195	1907S	SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ
GS197	15	VENÂNCIO AIRES
GS198	574)	PAROBÉ
GS199	7655	IVOTI
GS202	1561 S	ROLANTE
GS203	RS_21	CAMPO BOM
GS210	070S	SANTANA DO LIVRAMENTO

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 1.15 apresenta os resultados dos principais parâmetros hidroquímicos analisados na área piloto de São Sebastião do Caí, nas duas campanhas de amostragem.

QUADRO 1.15 – PRINCIPAIS PARÂMETROS ANALISADOS NAS CAMPANHAS DE AMOSTRAGENS

1ª Campanha																	
Nº Unesp	CE	pH	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	F	Cl	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na	K	Ca	Fe	Mg	Mn	NH ₃	Si
	µS/cm		mg/L														
GS075	93,8	7,5	55,6	0	0,1	1,3	0,19	0,74	0,36	9,2	4,1	8	0	1,6	0	0,00	25
GS076	155	7,8	93	0	0,2	3,7	0	0	0,96	15	3	15	0,2	3,3	0	0,00	32
GS077	449	7,7	96,7	0	0,5	8,8	0	7,11	124	51	0,8	43	0	2,9	0	0,04	16
GS078	213	7,9	128	0	0,1	4,6	0,12	3,72	1,85	14	0	18	0	12	0	0,00	25
GS079	242	7,4	112	0	0,2	12	0	0	14,9	14	0,7	27	0	6,5	0	0,20	14
GS082	285	8	170	0	0,1	6,8	0,18	4,52	2,32	16	0,8	34	0	11	0	0,09	20
GS089	163	7,6	79,5	0	0,1	8,4	0,14	3,91	1,91	16	2	15	0	3,1	0	0,00	28
GS163	306	7,3	177	0	0,3	7,1	0,17	7,95	3,36	15	0	33	0	12	0	0,09	30
GS164	343	7,4	111	0	0,4	8,7	0	0,76	65,5	59	2,3	12	0	2,7	0,1	0,31	22
GS165	157	7,2	84,1	0	0,2	7,9	0	0,42	0,6	17	1	12	0	3,1	0	0,20	30
GS179	356	7,9	231	0	0,1	4,6	0	1,04	3,21	78	0	10	0	2,3	0	0,00	12
GS180	409	9	120	21,6	2,8	20	0	0	49,7	98	0	2	0	0	0	0,00	6,4
GS190	228	7,2	128	0	0,1	6,3	0,16	4,2	3,78	11	1,3	24	0	9,9	0	0,32	34
GS191	239	7,7	133	0	0,1	9,2	0,18	3,5	2,22	13	1,2	23	0	11	0	1,31	28
GS192	200	7,5	76,2	0	0,1	14	0	16,7	2,97	9,2	0,5	19	0	6,8	0	4,15	28
GS193	182	7,2	92,6	0	0,1	2,8	0,16	16,7	1,12	9,1	0,3	20	0	7,2	0	0,06	26
GS194	59,7	6,4	30,7	0	0	1,7	0,12	1,51	0,17	6,6	3,3	3	0,2	1,1	0	0,00	21
GS195	169	7,4	90,8	0	0,1	6,1	0,1	3,13	1,87	13	0,5	16	0	4,9	0	0,05	29
GS197	627	9	116	20,1	2,3	58	0	0	104	141	0	4	0	0,1	0	0,22	6,4
GS198	149	7	90,4	0	0,1	2,4	0	0	0,85	11	0,6	12	0	4,7	0	0,00	26
GS199	186	7,5	111	0	0,1	3,4	0	0	1,64	12	0,3	21	0	4,2	0	1,28	6,9
GS202	328	7,4	178	0	0,2	9,7	0,19	4,05	8,47	17	0	37	0	12	0	0,06	30
GS203	187	7,5	117	0	0,1	1,9	0	0	0,72	9,2	3,1	20	0	6,9	0	0,08	27
2ª Campanha																	
Nº Unesp	CE	pH	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	F	Cl	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na	K	Ca	Fe	Mg	Mn	NH ₃	Si
	µS/cm		mg/L														
GS075	85,8	6,9	39,2	0	0	2,6	0	4,96	0,26	7,10	5,4	6	0	1,7	0	0,00	18
GS076	167	7,7	96,7	0	0,1	4,4	0	0	0,99	15	2,8	16	0,3	3,5	0	0,10	30
GS077	322	7,4	121	0	0,3	10	0,19	9,77	36,5	31	1,2	33	0	3,3	0	0,00	17
GS078	223	7,1	128	0	0,1	5	0,12	3,78	1,97	14	0	18	0	12	0	0,00	24
GS079	249	7,4	113	0	0,2	13	0	0	15	16	1	27	0	6,5	0	0,17	13
GS082	295	7,5	169	0	0,1	7,2	0,19	5,35	2,33	16	0,7	32	0	11	0	0,00	20
GS089	164	7	78,9	0	0,2	9	0,14	3,54	1,71	16	2,2	14	0	3,2	0	0,00	27
GS163	311	8	174	0	0,2	7,1	0,24	7,46	2,99	15	0	35	0	13	0	0,00	26
GS164	302	8	115	0	0,2	6,3	0,23	1,28	45,8	49	2,6	13	0	3,1	0	0,00	20
GS165	161	8	85,2	0	0,2	7,9	0	0	0,6	18	1,1	13	0	3,4	0	0,16	24
GS179	288	7	170	0	0,1	6,7	0,21	1,94	2,82	31	0,7	26	0	5,3	0	0,52	21
GS180	419	9	113	28,8	2,6	24	0	0	50,1	107	0	2	0	0	0	0,00	5,5
GS190	234	7	127	0	0,1	6	0,16	4,67	3,58	11	0,6	26	0	8,3	0	0,00	26
GS191	240	8	129	0	0,1	9	0,17	3,82	2,21	13	0,9	23	0	12	0	0,00	23
GS192	218	7	95,2	0	0,1	12	0,16	10	4,11	8,6	0,4	23	0	8,2	0	3,96	23
GS193	186	7	90,3	0	0,1	2,8	0,19	16,6	0,99	9,3	0,3	19	0	6,4	0	0,06	21
GS194	72	7	44,4	0	0,1	0,9	0,1	0,11	0,22	9,6	1,7	4	0	1,3	0	0,00	23
GS195	173	8	95,7	0	0,1	5,6	0,09	3,14	1,81	12	0,5	18	0	5,4	0	0,00	24
GS197	597	9	119	21,3	2,2	53	0	0	93	153	0	4	0	0,1	0	0,00	5,6
GS198	159	7	95,6	0	0,1	2,7	0,08	0,62	0,78	14	0,5	13	0	5,4	0	0,00	22
GS199	176	7	104	0	0,1	3,3	0,15	1,78	1,45	12	0,1	20	0	4,4	0	1,33	17
GS202	332	8	190	0	0,1	9,2	0,18	2,83	7,13	16	0	39	0	13	0	0,00	24
GS210	66,3	7	28,8	0	0,1	5,4	0	3,28	0,17	24	6,5	6	0	1,8	0	0,83	12

Os valores de pHs das amostras de água do SAG da área piloto do Rio Grande do Sul oscilaram entre 6,4 e 9,2, com medianas de 7,5 nas duas campanhas (Figura 1.46). As águas são predominantemente alcalinas devido à maior concentração de bicarbonatos e carbonatos.

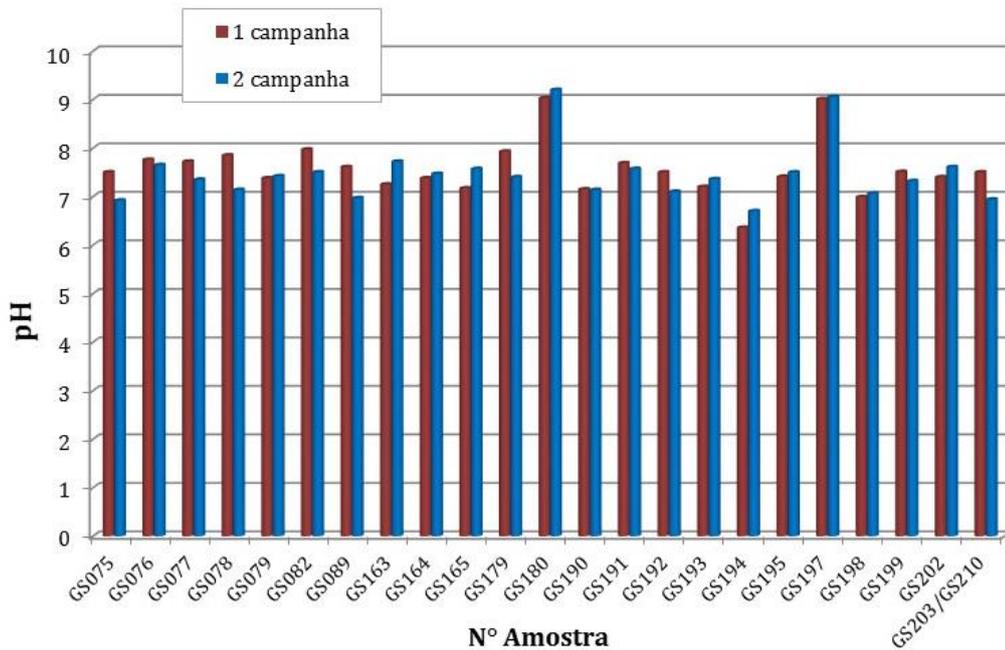


Figura 1.46 – Valores de pH de amostras de águas da área piloto do Rio Grande do Sul – 1ª e 2ª campanhas.

Os valores de condutividade elétrica situaram-se entre 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 627 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 1.47), com medianas de 220 $\mu\text{S}/\text{cm}$ nas duas campanhas, revelando águas mais salinas, com elevadas concentrações iônicas, sendo a maioria (90%) com condutividades elétricas acima de 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Observa-se, também, que não há diferenças expressivas entre os resultados nas duas campanhas de amostragem (Quadro 1.15, Figura 1.47).

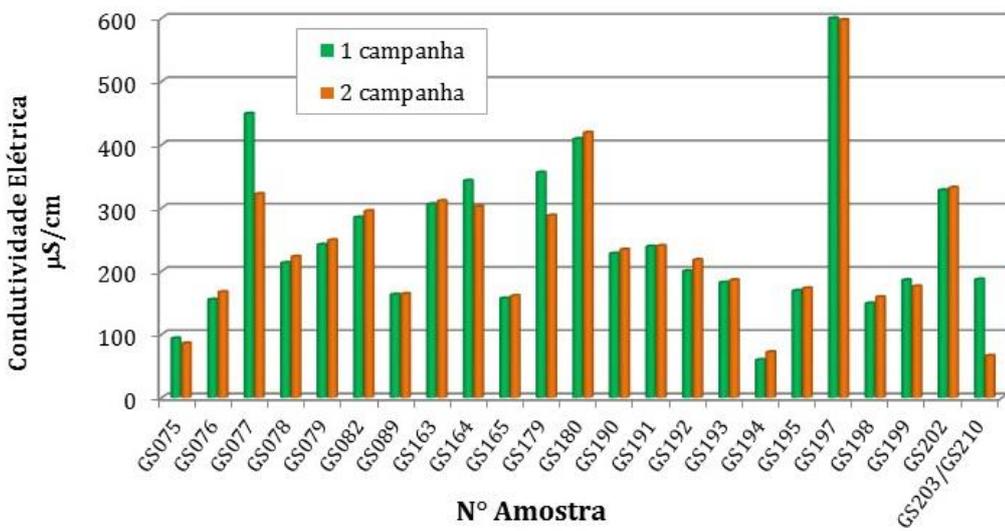


Figura 1.47- Condutividade elétrica (CE) de amostras de águas da área piloto do Rio Grande do Sul – 1ª e 2ª campanhas.

Considerando-se as concentrações iônicas das amostras de água nas duas campanhas de amostragens da área piloto do Rio Grande do Sul, a relação é $\text{HCO}_3 \gg \text{Cl} \geq \text{NO}_3 > \text{SO}_4 \geq \text{CO}_3$ para os ânions (Figura 1.48), e $\text{Si} > \text{Ca} \geq \text{Na} > \text{Mg} > \text{K} > \text{Fe}$ para os cátions (Figura 1.49).

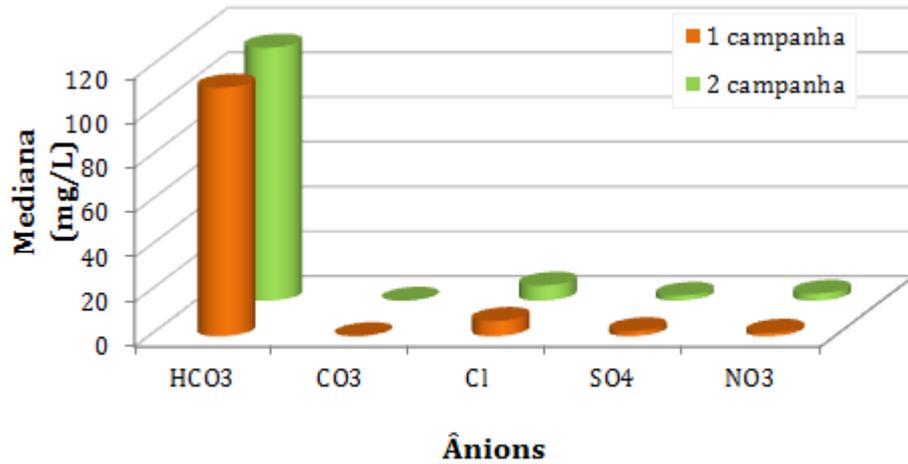


Figura 1.48- Distribuição dos ânions nas águas subterrâneas da área piloto do Rio Grande do Sul – 1ª e 2ª campanhas.

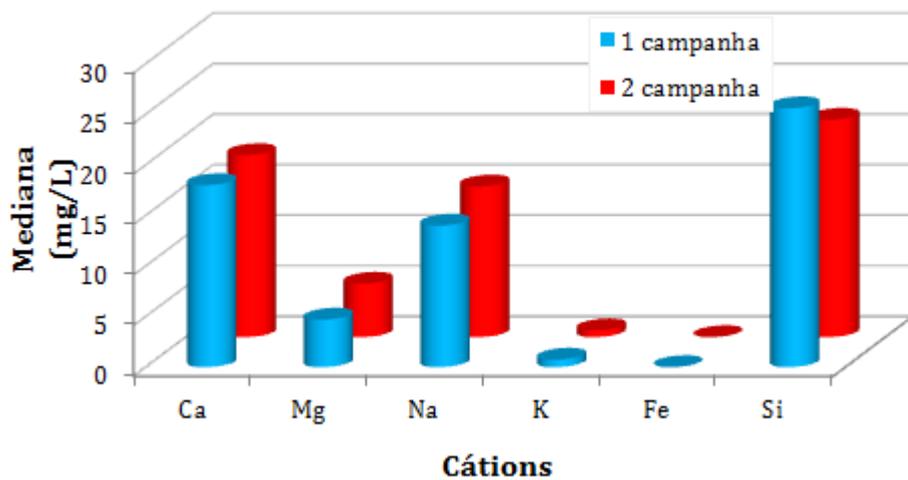


Figura 1.49- Distribuição dos cátions nas águas subterrâneas da área piloto do Rio Grande do Sul – 1ª e 2ª campanhas.

1.5.2 Classificação das águas subterrâneas do SAG na área piloto de São Sebastião do Caí (RS)

A maioria das águas subterrâneas da área piloto do Rio Grande do Sul foi classificada, nas duas campanhas de amostragens, como bicarbonatada cálcica (74%), seguida de bicarbonatada sódica (17%), cloretada sódica (4,5%) e sulfatada cálcica (4,5%) (Quadro 1.16). Apenas dois poços (CS077 e CS179) não repetiram as mesmas classificações nas duas campanhas.

QUADRO 1.16 – TIPOS HIDROQUÍMICOS PREDOMINANTES NA ÁREA PILOTO DO RIO GRANDE DO SUL

ID - Unesp	Município	1ª Campanha	2ª Campanha
GS075	Novo Hamburgo	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
GS076	Nova Hartz	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
GS077	Nova Hartz	Sulfatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
GS078	Rolante	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
GS079	Taquara	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
GS082	Portão	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
GS089	São Sebastião do Caí	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
GS163	Rolante	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
GS164	Sapiranga	Bicarbonatada Sódica	Bicarbonatada Sódica
GS165	Santo Antônio da Patrulha	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
GS179	Montenegro	Bicarbonatada Sódica	Bicarbonatada Cálcica
GS180	Bom Retiro do Sul	Bicarbonatada Sódica	Bicarbonatada Sódica
GS190	Portão	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
GS191	Estância Velha	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
GS192	Ivoti	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
GS193	Ivoti	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
GS194	São Sebastião do Caí	Bicarbonatada Sódica	Bicarbonatada Sódica
GS195	São Sebastião do Caí	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
GS197	Venâncio Aires	Cloretada Sódica	Bicarbonatada Sódica
GS198	Parobé	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
GS199	Ivoti	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
GS202	Rolante	Bicarbonatada Cálcica	Bicarbonatada Cálcica
GS203	Campo Bom	Bicarbonatada Cálcica	Não Coletada
GS210	Santana do Livramento	Não Coletada	Bicarbonatada Cálcica

1.5.3 Parâmetros hidroquímicos acima dos Valores Máximos Permitidos

Dentre os 24 poços amostrados na área piloto de São Sebastião do Caí (RS), nas duas campanhas de coleta, em apenas dois deles (GS180 e GS197) foram constatados parâmetros com valores acima do máximo permitido pela Portaria nº 2.914/2011, do Ministério da Saúde. As amostras GS180 e GS197 apresentaram concentrações de fluoreto acima do Valor Máximo Permitido, que é de 1,5 mg/L. A amostra GS180 apresentou concentrações de 2,8 mg/L e 2,6 mg/L, enquanto a amostra GS197 apresentou concentrações de 2,3 mg/L e 2,2 mg/L, respectivamente, na primeira e segunda campanhas.

1.5.4 Parâmetros específicos

1.5.4.1 Metais pesados

Na área piloto do Rio Grande do Sul foram selecionadas 8 amostras para análise dos metais bário, cádmio, cromo, cobre, níquel, chumbo, zinco, estrôncio, arsênio e mercúrio (Quadro 1.17).

QUADRO 1.17 – METAIS PESADOS NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA ÁREA PILOTO DE SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ (RS)

Amostra	Bário	Cádmio	Cromo	Cobre	Níquel	Chumbo	Zinco	Estrôncio	Arsênio	Mercúrio
	mg/L								µg/L	
GS089	0,074	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	0,014	0,066	1,20	<LQ
GS163	0,028	< 0,005	< 0,003	0,016	< 0,003	< 0,005	0,017	0,071	0,80	<LQ
GS179	0,067	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	0,04	0,15	1,90	<LQ
GS180	< 0,001	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	0,008	0,023	3,42	0,40
GS194	0,051	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	< 0,005	0,03	0,27	<LQ
GS195	0,009	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	0,023	0,03	1,34	9,17
GS198	0,014	< 0,005	< 0,003	0,005	< 0,003	< 0,005	0,028	0,062	0,81	<LQ
GS210	0,078	< 0,005	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,005	0,49	0,022	<LQ	3,17
VMP	0,7	0,005	0,05	2	0,07	0,01	5,0	ND	10,0	1,0

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

Concentrações acima do Valor Máximo Permitido (1 µg/l) foram constatadas apenas para mercúrio em São Sebastião do Caí (GS195) e em Santana do Livramento (GS210). Fetter (1993) assinala que as fontes geradoras de mercúrio devem-se a lodos de tratamento de águas residuárias de indústrias, áreas de disposição de resíduos (domésticos, industriais, hospitalares e/ou agropecuários), rejeitos de mineração, irrigação ou fertirrigação de lavouras que utilizam agrotóxicos e/ou fertilizantes, percolação no solo de poluentes atmosféricos a base de mercúrio e derramamento acidental do metal no solo ou águas superficiais. Os dados obtidos neste estudo são insuficientes para um diagnóstico da proveniência de mercúrio nas águas subterrâneas destes poços.

1.5.4.2 Agroquímicos

As amostras selecionadas para análises de agroquímicos foram divididas em grupos, conforme o uso da terra (Quadro 1.18). Para a área piloto do Rio Grande do Sul, foram realizadas análises dos grupos 1 ao 3 em 6 pontos selecionados (GS082, GS165, GS179, GS180, GS199 e GS210). Os resultados mostraram que todos os parâmetros analisados estão abaixo do limite da técnica empregada para detecção.

QUADRO 1.18 – 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 RS	6	1	2	3
GRUPOS	PARÂMETROS			
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 Metílica, 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 na 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 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 Sebastião do Caí (RS) foram selecionados 8 pontos para amostragens de água para análise de índices de fenóis (Quadro 1.19). Das 8 amostras, 3 são de São Sebastião do Caí e as demais são de Rolante, Montenegro, Bom Retiro do Sul, Parobé e Santana do Livramento. Em algumas amostras foram detectados índices de fenóis, todavia, em baixas concentrações.

QUADRO 1.19 – ÍNDICES DE FENÓIS NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA ÁREA PILOTO DO RIO GRANDE DO SUL

<i>Amostra</i>	<i>Município</i>	<i>Ind. Fenóis (mg/L)</i>
GS089	São Sebastião do Caí	<0,001
GS163	Rolante	0,005
GS179	Montenegro	<0,001
GS180	Bom Retiro do Sul	<0,001
GS194	São Sebastião do Caí	<0,001
GS195	São Sebastião do Caí	0,001
GS198	Parobé	0,001
GS210	Santana do Livramento	<0,001
<i>< = abaixo do limite da técnica empregada para detecção</i>		

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 do Rio Grande do Sul foram selecionados 8 pontos, sendo 3 pontos em São Sebastião do Caí e 1 ponto em Rolante, Montenegro, Bom Retiro do Sul, Parobé e Santana do Livramento.

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 1.20).

QUADRO 1.20 – BTEX NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA ÁREA PILOTO DO RIO GRANDE DO SUL

<i>Amostras</i>	<i>Município</i>	<i>Benzeno</i>	<i>Tolueno</i>	<i>Etilbenzeno</i>	<i>o-Xileno</i>	<i>m.p-Xileno</i>
		<i>mg/L</i>				
GS089	São Sebastião do Caí	<1	<1	<1	<1	<2
GS163	Rolante	<1	<1	<1	<1	<2
GS179	Montenegro	<1	<1	<1	<1	<2
GS180	Bom Retiro do Sul	<1	<1	<1	<1	<2
GS194	São Sebastião do Caí	<1	<1	<1	<1	<2
GS195	São Sebastião do Caí	<1	<1	<1	<1	<2
GS198	São Sebastião do Caí	<1	<1	<1	<1	<2
GS210	Santana do Livramento	<1	<1	<1	<1	<2
<i>< = abaixo do limite da técnica empregada para detecção</i>						

1.5.4.5 Conteúdo Microbiológico

Na área piloto do Rio Grande do Sul foram selecionados 6 pontos para análise do conteúdo microbiológico das águas subterrâneas do SAG. Foram amostrados 3 poços em São Sebastião do Caí, 1 poço em Rolante, 1 poço em Ivoti e 1 poço em Santana do Livramento.

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, 4 apresentaram resultados positivos para coliformes totais, sendo 2 localizadas em São Sebastião do Caí, 1 em Rolante e 1 em Santana do Livramento. Com relação aos coliformes fecais, apenas a amostra GS089, de São Sebastião do Caí, apresentou resultado positivo (Quadro 1.21).

QUADRO 1.21 – CONTEÚDO BACTERIOLÓGICO DAS ÁGUAS DA ÁREA PILOTO DO RIO GRANDE DO SUL

Nº Unesp	Município	Zona	Coliformes Totais (100ml)	Escherichia Coli (100ml)
GS089	São Sebastião do Caí	Urbana	Presente	Presente
GS163	Rolante	Urbana	Presente	Ausente
GS193	Ivoti	Rural	Ausente	Ausente
GS194	São Sebastião do Caí	Urbana	Presente	Ausente
GS195	São Sebastião do Caí	Rural	Ausente	Ausente
GS210	Santana do Livramento	Urbana	Presente	Ausente

As amostras que apresentaram resultados bacteriológicos positivos também mostraram concentrações relativamente elevadas de nitrato e de cloreto (Figura 1.50), porém a concentração de nitrato não ultrapassou o Valor Máximo Permitido (44 mg/L) pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde. Os pontos amostrados onde foram detectadas contaminações bacteriológicas estão localizados em zonas urbanas.

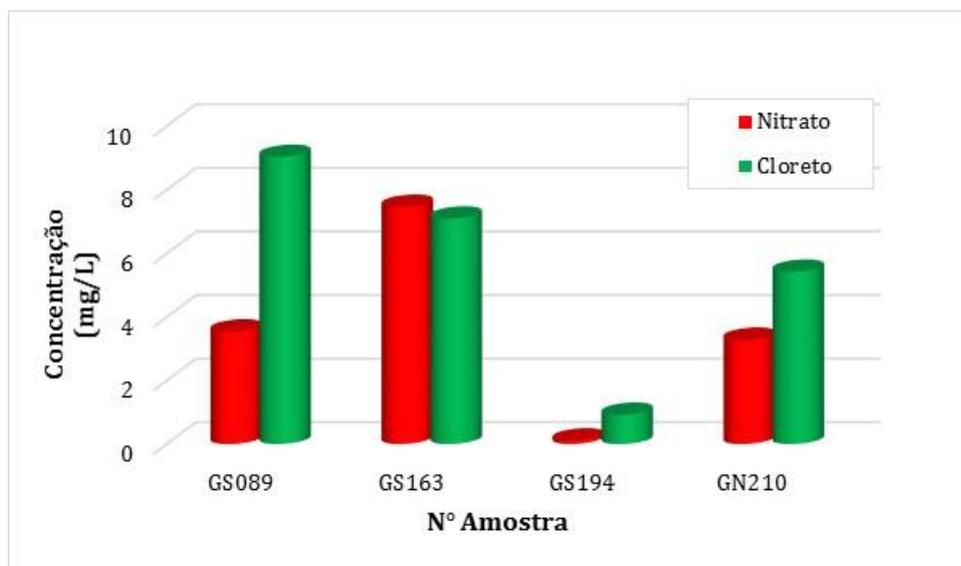


Figura 1.50 – Concentrações de nitrato e cloreto nas amostras com resultados positivos para conteúdo bacteriológico

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), $^1\text{H}^2\text{H}^{16}\text{O}$ (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 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 δD , e de ^{18}O , por $\delta^{18}\text{O}$, conforme demonstrada abaixo:

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

Equação 1.1

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

Água com menos deutério que SMOW apresenta δD negativo; água com mais deutério que SMOW apresenta δD positivo. O mesmo ocorre com o $\delta^{18}\text{O}$. O ciclo hidrológico global mostra correlação linear entre $\delta^{18}\text{O}$ e δD . 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, 4 amostras de água na área piloto do SAG no Rio Grande do Sul, para análise dos isótopos ^{18}O e deutério (Quadro 1.22). As razões isotópicas das análises de $\delta^{18}\text{O}$ variam no intervalo de $-5,59\text{‰}$ a $-4,67\text{‰}$, enquanto que os resultados de δD oscilaram entre $-27,3\text{‰}$ a $-22,7\text{‰}$.

QUADRO 1.22 – ISÓTOPOS DE O^{18} E DEUTÉRIO EM ÁGUAS DO SAG NA ÁREA PILOTO DE SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ (RS)

Nº Unesp	Município	UF	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	δD (‰)
GS077	São Sebastião do Caí	RS	-5,59	-27,3
GS089	Rolante	RS	-4,79	-23,7
GS194	Ivoti	RS	-4,67	-25,7
GS195	São Sebastião do Caí	RS	-4,79	-22,7

Observa-se que a maioria das amostras de água do SAG da área piloto do Rio Grande do Sul tem composição isotópica próxima à da Linha Meteórica Global (LMG), confirmando sua origem meteórica (Figura 1.51).

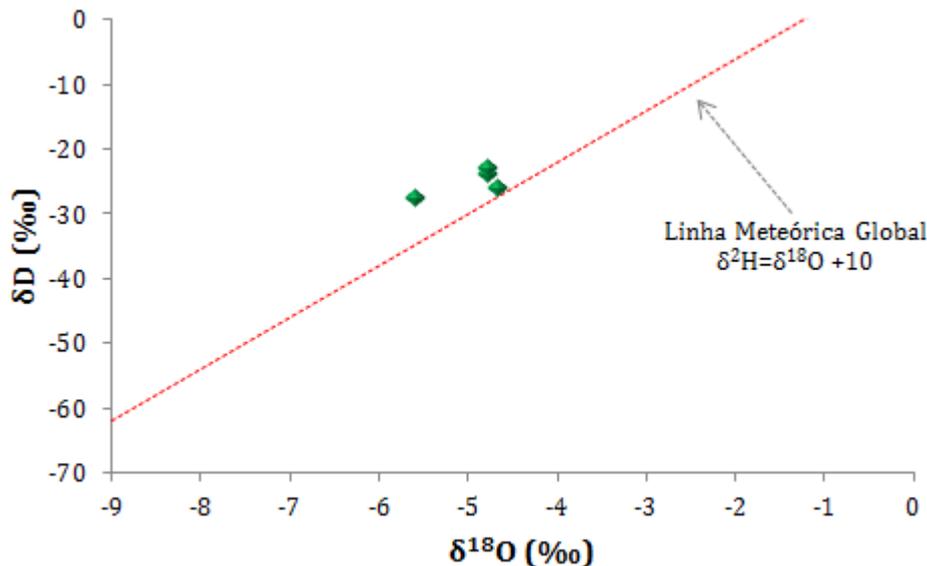


Figura 1.51 - Relação de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ para as amostras de águas do SAG coletadas na área piloto do Rio Grande do Sul.

1.5.4.7 Isótopos estáveis de estrôncio

O estrôncio é um cátion bivalente que substitui facilmente o 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}Sr está diretamente ligada à geoquímica do potássio, o qual é facilmente substituído pelo Rb^+ . Deste modo, rochas ricas em K terão altas concentrações de ^{87}Rb e ^{87}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 4 amostras de águas do SAG na área piloto do Rio Grande do Sul. Os resultados estão agrupados no Quadro 1.23, que também apresenta a identificação, a localização e a profundidade de coleta das amostras, além de alguns parâmetros hidroquímicos relevantes.

QUADRO 1.23 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ DE AMOSTRAS DE ÁGUA DO SAG NA ÁREA PILOTO DE SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ (RS)

Nº Unesp	Município	UF	Prof. (m)	Zona	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \pm 2SE$	Sr (mg/L)	Ca (mg/L)	O18	H2	NO_3^-
GS077	Nova Hartz	RS	76	Urbana	0,71153+/-1	0,15	33,2	-5,59	-27,3	9,77
GS089	São Sebastião do Caí	RS	0	Urbana	0,71301+/-1	0,066	14,1	-4,79	-23,7	3,54
GS194	São Sebastião do Cai	RS	0	Urbana	0,71295+/-2	0,03	4,41	-4,67	-25,7	0,11
GS195	São Sebastião do Caí	RS	0	Rural	0,71152+/-2	0.03	17.6	-4.79	-22.7	3.14

A concentração de estrôncio mostra uma correlação direta com a concentração de sólidos totais dissolvidos (STD) e com a concentração de bicarbonato (Figura 1.52), mesma tendência observada para todas as amostras de água do SAG coletadas neste projeto.

Os dados isotópicos foram lançados em um gráfico de dispersão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ versus Ca/Na (Figura 1.53), onde pode-se observar que as águas analisadas apresentaram padrão semelhante às demais amostras do SAG, ou seja, não indicaram origem geológica ou fonte distinta deste sistema aquífero.

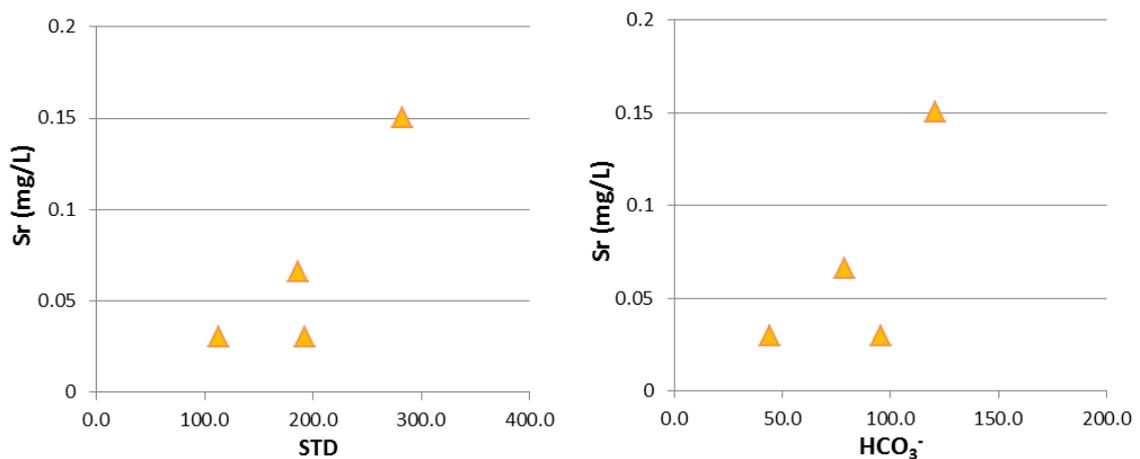


Figura 1.52 – Gráficos de dispersão das concentrações de Sr vs. STD e Sr vs. HCO_3^- de amostras de água do SAG na área piloto no Rio Grande do Sul.

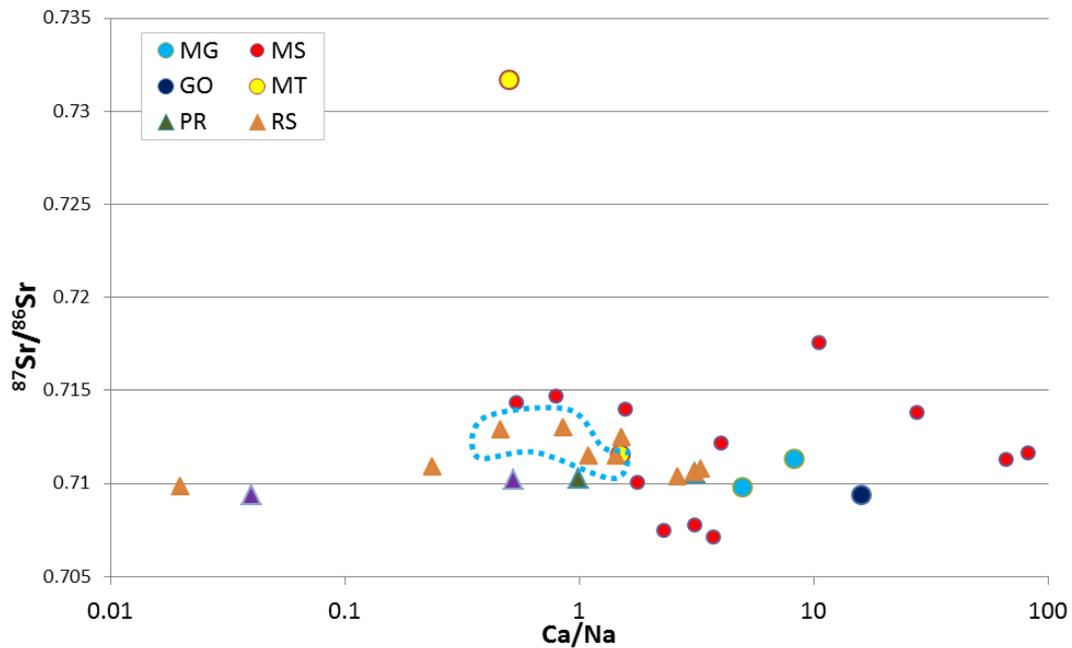


Figura 1.53 – Gráfico de dispersão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs. Ca/Na de amostras de água do SAG coletadas neste estudo, com indicação das amostras da área piloto de São Sebastião do Caí (RS).

Os dados isotópicos foram lançados em um gráfico de dispersão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ versus Sr (Figura 1.54), 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).

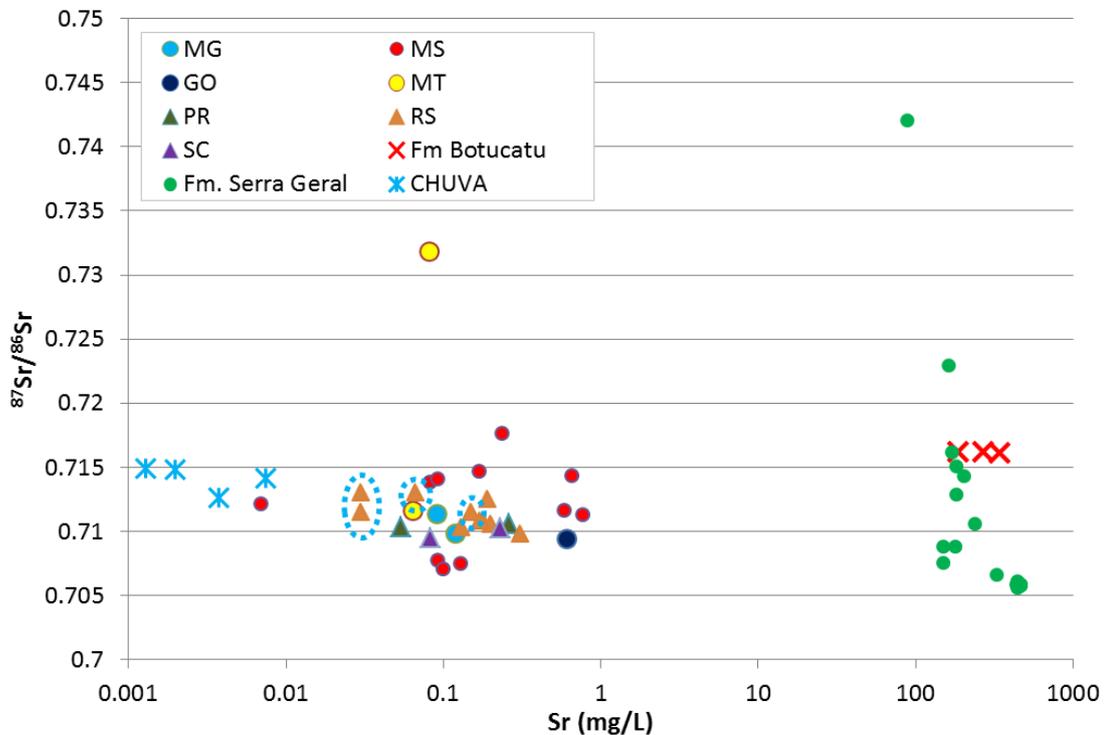


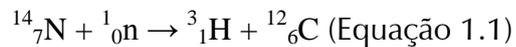
Figura 1.54- Gráfico de dispersão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs. Sr (mg/L) com resultados integrados de análises de água de chuva e de rochas da Bacia do Paraná encontrados na bibliografia, com a indicação das amostras da área piloto de São Sebastião do Caí (RS).

Observa-se que as amostras possuem assinatura isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ semelhante às demais amostras do SAG. Apesar da variação na concentração de estrôncio (0,03 mg/L até 0,15 mg/L), não há uma variação significativa na razão isotópica.

A integração destes resultados revela que as amostras de água coletadas no piloto do Rio Grande do Sul apresentam moderada variação na concentração de Sr e estreita variação na assinatura isotópica, semelhante à das rochas das formações Botucatu e Serra Geral, e das águas de chuva, o que dificulta maiores interpretações acerca das interações água-rocha.

1.5.4.8 Trítio

O Trítio (^3H) 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 abaixo:

$$a_t {}^3\text{H} = a_0 {}^3\text{H} \cdot e^{-\lambda t} \text{ (Equação 1.2)}$$

Onde α_0 é a atividade específica inicial do nuclídeo-pai (em Bq/kg ou mBq/g; 1 Bq = 1 desintegração por segundo), α_t é a atividade específica depois de certo tempo t , e λ é a constante de decaimento.

O termo da equação ($a_0 {}^3\text{H}$) é a atividade inicial do trítio ou concentração (expressa em TU – *Tritium Unit*) e o termo ($a_t {}^3\text{H}$) 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:

$$t = -17.93 \cdot \ln \left(\frac{a_t {}^3\text{H}}{a_0 {}^3\text{H}} \right) \text{ (Equação 1.3)}$$

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 1.24 apresenta uma classificação da idade das águas subterrâneas para regiões continentais e costeiras de baixa latitude (Clark & Fritz 1999).

QUADRO 1.24 – CLASSIFICAÇÃO DA IDADE DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PELO MÉTODO DO TRÍTIU

<i>Regiões</i>	<i>Concentração em TU</i>	<i>Classificação</i>
<i>Regiões Continentais</i>	< 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" $\delta^3\text{H}$ presente
	> 30 TU	Considerável componete de recarga de 1960 ou 1970
	> 50 TU	Dominantemente recarga dos anos 1960
<i>Regiões Costeiras e de Baixa Latitude</i>	< 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" $\delta^3\text{H}$ presente
	> 20 TU	Considerável componete de recarga de 1960 ou 1970

Foram realizadas 4 análises de trítio de águas do SAG na área piloto de São Sebastião do Caí (RS), cujos resultados e interpretações com base em Clark & Fritz (1997) encontram-se no Quadro 1.25.

QUADRO 1.25 – RESULTADOS E INTERPRETAÇÕES DAS ANÁLISES DE TRÍTIU DE AMOSTRAS DE ÁGUA DO SAG NA ÁREA PILOTO DE SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ (RS)

<i>ID - Unesp</i>	<i>$\delta^3\text{H}$ [TU]</i>	<i>$\pm 2 \sigma$</i>	<i>Interpretação Qualitativa</i>	<i>Município</i>	<i>UF</i>
GS075	< 1,3	-	Mistura de Submoderno com recente	Nova Hartz	RS
GS089	< 1,0	-	Mistura de Submoderno com recente	São Sebastião do Caí	RS
GS194	< 1,1	-	Mistura de Submoderno com recente	São Sebastião do Caí	RS
GS195	< 0,7	-	Submoderno	São Sebastião do Caí	RS

Os valores de trítio variaram de 0,7 a 1,3 TU, sendo as águas classificadas como de recarga submoderna e mistura entre recarga submoderna e recarga recente.

Dentre as amostras analisadas, 3 apresentaram águas provenientes de mistura entre recarga submoderna e recarga recente (GS077 de Nova Hartz; GS089 e GS194 de São Sebastião do Caí), e 1 amostra (GS195) com água proveniente de recarga submoderna (anterior a 1952).

Apesar da maioria das amostras de águas subterrâneas na área piloto do SAG no Rio Grande do Sul ter sido caracterizada como proveniente de mistura entre recarga submoderna e recarga recente, as águas são depletadas em trítio, o que pode caracterizar a presença de águas mais antigas, com tempo médio de residência mais longo.

1.6 MAPEAMENTO HIDROGEOLÓGICO

1.6.1 Método para Elaboração do Mapa Hidrogeológico da Área Piloto de São Sebastião do Caí

O mapa hidrogeológico na escala 1:50.000 da área piloto de São Sebastião do Caí foi composto por temas básicos (drenagens, limites municipais, etc.) e por temas específicos, como unidades litoestratigráficas e potenciometria.

As unidades litoestratigráficas principais componentes do SAG, reconhecidas e mapeadas em campo na escala 1:50.000, foram as formações Botucatu, Pirambóia (Guará) e Santa Maria.

A superfície potenciométrica foi estimada com base na correlação de dados de níveis de água estáticos de poços levantados neste estudo e de dados altimétricos dos pontos de localização desses poços, conforme descrição no item 1.6.2 seguinte.

1.6.2 Mapa Potenciométrico da Área Piloto de São Sebastião do Caí

O mapa potenciométrico do SAG, na área piloto de São Sebastião do Caí, foi elaborado a partir da seleção de 627 poços, localizados principalmente em áreas de afloramento do SAG no Rio Grande do Sul e que continham dados de nível estático.

Estes poços foram plotados no Modelo Digital de Terreno (MDT) para extração das altitudes do terreno (cota da boca do poço). Em seguida, foi feita correlação da altitude com a cota do nível de água estático do poço (Figura 1.55), e gerada equação de correlação linear (melhor ajuste), neste caso com 90% de ajuste, conforme discriminada a seguir:

$$Y = 0,8844X - 8,0948 \text{ (Equação 1.5)}$$

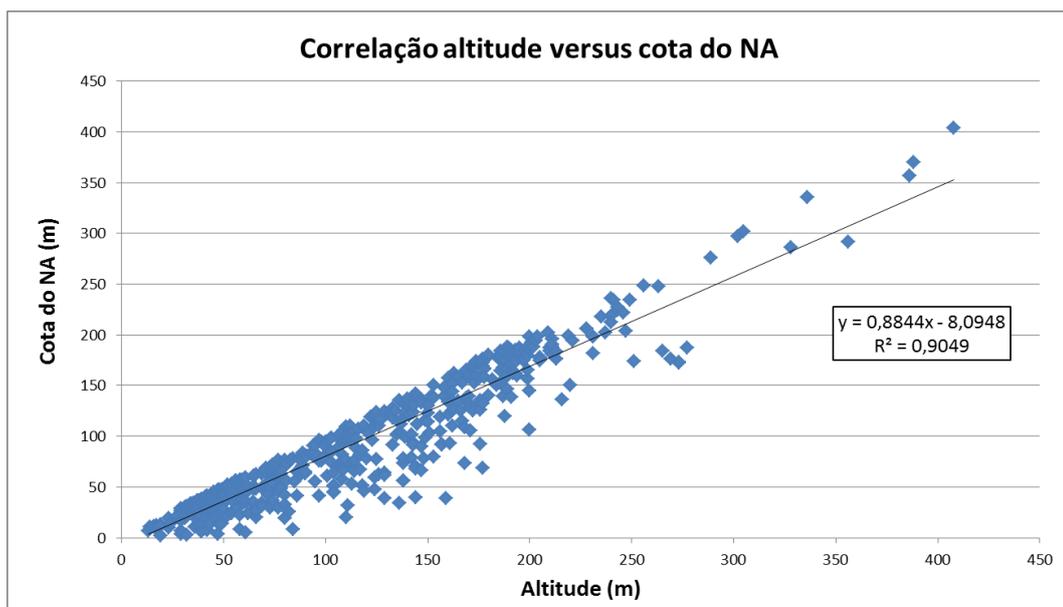
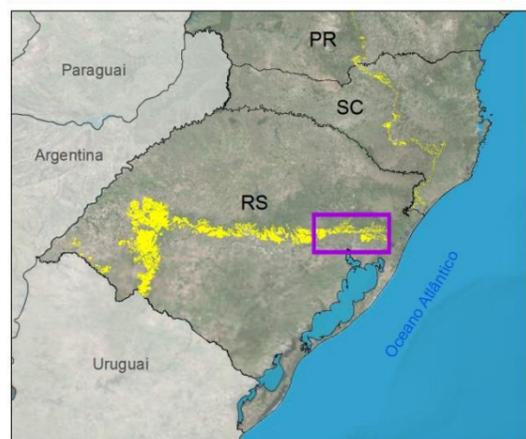
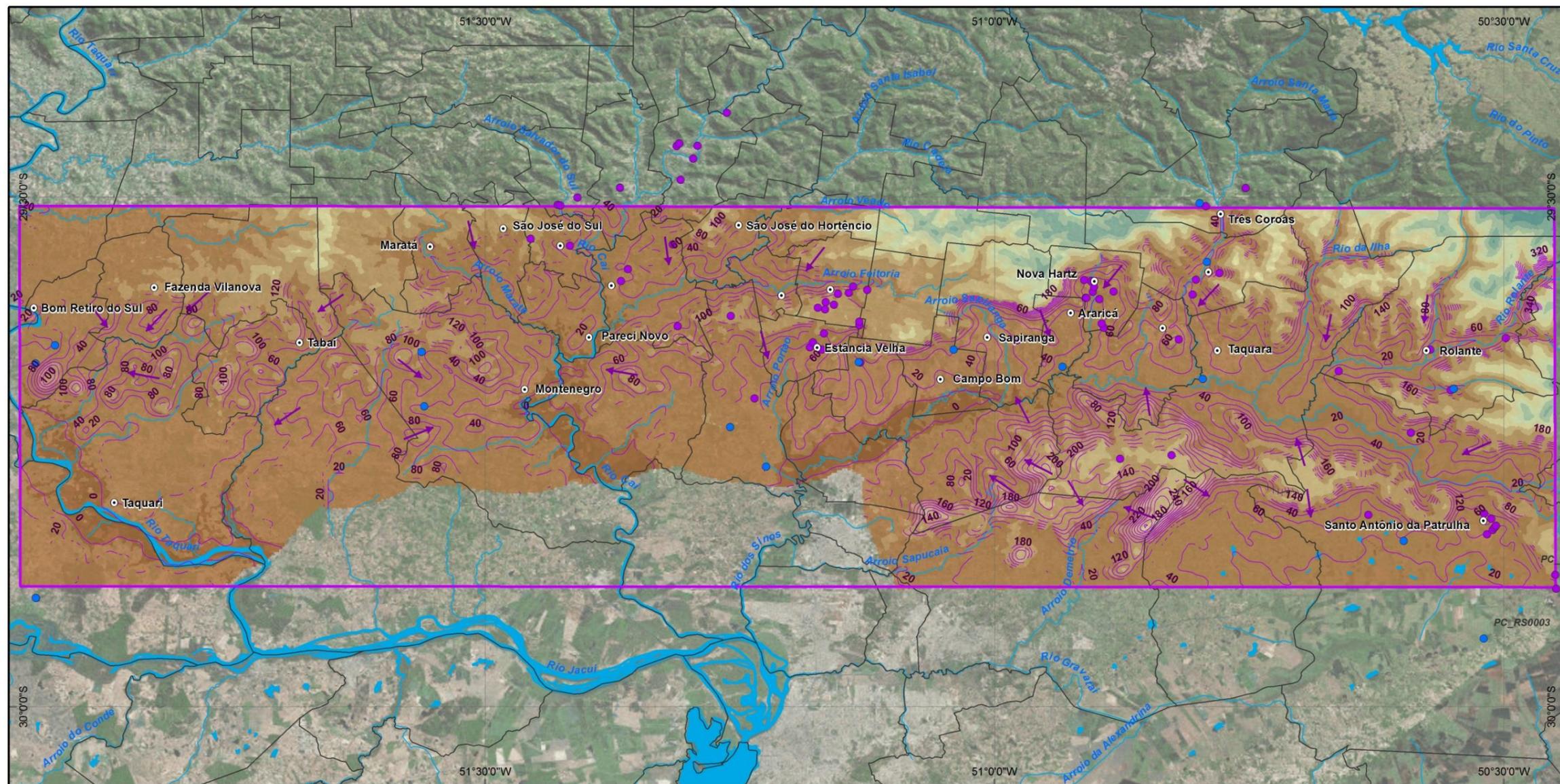


Figura 1.55 – Correlação entre altitude da boca do poço e cota do NA.

A equação foi aplicada aos dados altimétricos do Modelo Digital de Terreno da área piloto e as células do grid foram transformadas em pontos cotados. Por meio do aplicativo *Topo to Raster* do programa *ArcGis 10*, foi elaborado grid representando a carga hidráulica no terreno e extraídas as equipotenciais em intervalos de 50 m. Os valores de carga hidráulica foram, posteriormente, transformados em isolinhas equipotenciais, como mostrado no mapa potenciométrico da Figura 1.56.



Localização da área-piloto no estado do Rio Grande do Sul

Convenções cartográficas

- Rios
- Massas d'água
- Sedes Municipais
- Limites Municipais
- Área piloto no RS

Hidrogeologia

- Potenciometria
- Direção de fluxo subterrâneo
- Poços Preexistentes Validados
- Poços Novos

Carga Hidráulica (m)

- 0
- 0,1 - 100
- 100,1 - 200
- 200,1 - 300
- 300,1 - 400
- 400,1 - 500
- 500,1 - 600
- 600,1 - 700
- 700,1 - 800
- > 800,1

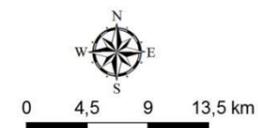


Figura 1.56 – Mapa potenciométrico do SAG na área piloto de São Sebastião do Caí..

1.6.3 Mapa Hidrogeológico da Área Piloto de São Sebastião do Caí

O Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul compreende as unidades hidroestratigráficas Botucatu, Guará (Pirambóia, segundo concepção adotada neste estudo e baseada em (OEA, 2009b) e Soares et al., 2008). 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. No Rio Grande do Sul, o SAG é caracterizado pela grande variação litológica resultante dos ambientes fluviais, lacustres e eólicos que acomodaram seus sedimentos. Para Machado (2005), o SAG pode ter tantas características de potenciometria, capacidade específica e salinidade, quantas forem as unidades hidroestratigráficas que o compõem, impondo-se, portanto, a sua individualização para a correta interpretação das suas condições de ocorrência.

Neste estudo foram identificadas e mapeadas, no Rio Grande do Sul, as unidades hidroestratigráficas Botucatu, Pirambóia (equivalente na concepção deste estudo à unidade Guará), Caturrita e Santa Maria (compreendendo as unidades Alemoa, Passo das Tropas 1 e Passo das Tropas 2). As outras unidades encontradas na região foram os aquíferos colúvio-aluvionares, o Sistema Aquífero Serra Geral, o Aquífero Sanga do Cabral e o Aquífero Passa Dois (com denominação diferente da do mapa regional em função da presença de níveis argilosos).

A análise do mapa potenciométrico da área piloto de São Sebastião do Caí indica fluxos subterrâneos locais governados por microbacias associadas que descarregam a água subterrânea para a rede de drenagem superficial, e fluxos regionais no sentido de norte para sul que conduzem as águas subterrâneas desde as áreas de confinamento do aquífero, subjacentes aos basaltos da Formação Serra Geral, até a descarga nas bacias hidrográficas dos rios do Sino, Cadeia, Maratá, Santa Cruz, Capivara, etc., que por sua vez conduzem essas águas para além dos limites do SAG aflorante. O mapa hidrogeológico da área piloto de São Sebastião do Caí, na escala 1:50.000, é mostrado na Figura 1.57.

1.6.4 Modelo Conceitual de Fluxo do SAG na Área Piloto de São Sebastião do Caí

Segundo OEAb (2009), regionalmente a faixa de afloramentos E-W do Rio Grande do Sul constitui uma das principais zonas de descarga do SAG, por onde fluem as águas subterrâneas provenientes da porção confinada do aquífero, ao norte. Ao mesmo tempo, essa área compreende uma grande zona de recarga direta por chuvas e de descarga local para a rede hidrográfica.

O mapa potenciométrico do SAG na área piloto de São Sebastião do Caí, como exposto no capítulo 1.6.2 revela claramente a existência de fluxos subterrâneos locais e fluxos subterrâneos regionais, a exemplo das demais áreas de afloramento do aquífero nos demais estados onde ocorre. O fluxo subterrâneo local é aquele controlado pelas drenagens das microbacias e tem circulação restrita aos limites das mesmas. O fluxo regional dirige-se aproximadamente no sentido de norte para sul e é proveniente das áreas de confinamento do aquífero cobertas pelas rochas basálticas da Formação Serra Geral, nos limites setentrionais da área piloto.

Estas águas são descarregadas à jusante principalmente nas áreas aluvionares extensas e planas das grandes bacias hidrográficas, como por exemplo, as bacias dos rios dos Sinos, Caí, Santa Cruz e Taquari. Transformadas em água superficial, as águas descarregadas pelo SAG são conduzidas para fora da área piloto.

A seção hidrogeológica Norte–Sul da Figura 1.58 representa o modelo conceitual de fluxo subterrâneo na área piloto de São Sebastião do Caí. Na seção observam-se as porções confinada e livre do SAG, e divisores locais e regionais controlando as direções de fluxo.

O caráter livre do SAG no piloto de São Sebastião do Caí é determinado pelo limite superior do aquífero sob pressão atmosférica e pela presença de sedimentos de permeabilidade menor na base, representados pelas formações Sanga do Cabral e Rio do Rasto. De acordo com Machado (2005), as unidades hidroestratigráficas Sanga do Cabral e Rio do Rasto podem ser consideradas aquíferos ou aquícludes.

1.7 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 1.26). 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.

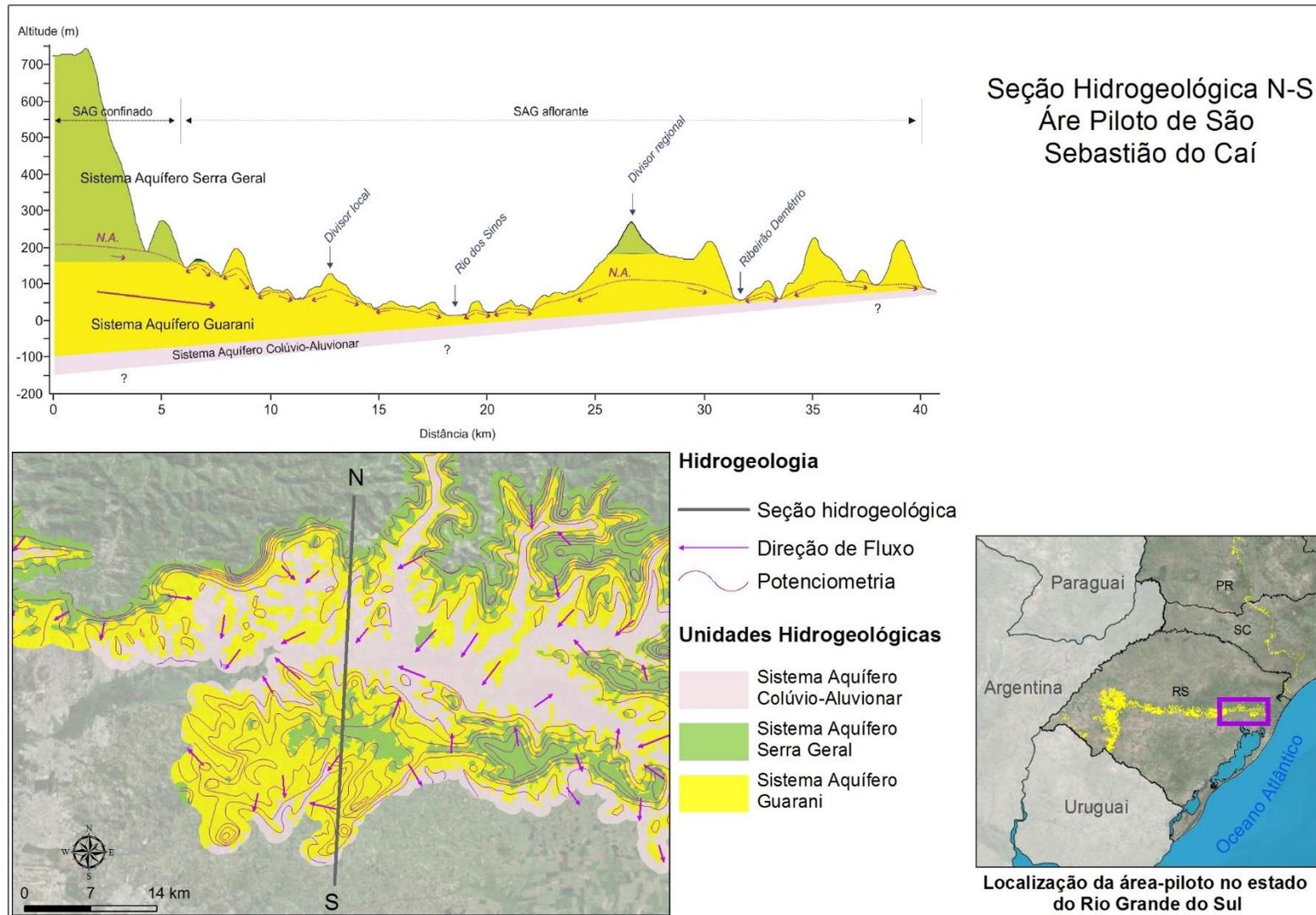


Figura 1.58 – Modelo hidrogeológico conceitual de fluxo subterrâneo na área do piloto de São Sebastião do Caí (RS).

QUADRO 1.26 – ÍNDICES DE VULNERABILIDADE NATURAL À POLUIÇÃO DE AQUÍFEROS E SEUS RESPECTIVOS FATORES DE PONDERAÇÃO

Índice	Método de avaliação	Fatores	Referência
Surface Impoundment Assessment	Paramétrico. Sistema de disposição de águas servidas.	Zona não saturada; Importância do recurso; qualidade das águas subterrâneas; periculosidade do material.	(LeGrand, 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)

1.7.1 Método para Elaboração do Mapa de Vulnerabilidade do SAG Aflorante da Área Piloto de São Sebastião do Caí

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 1.59. 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.

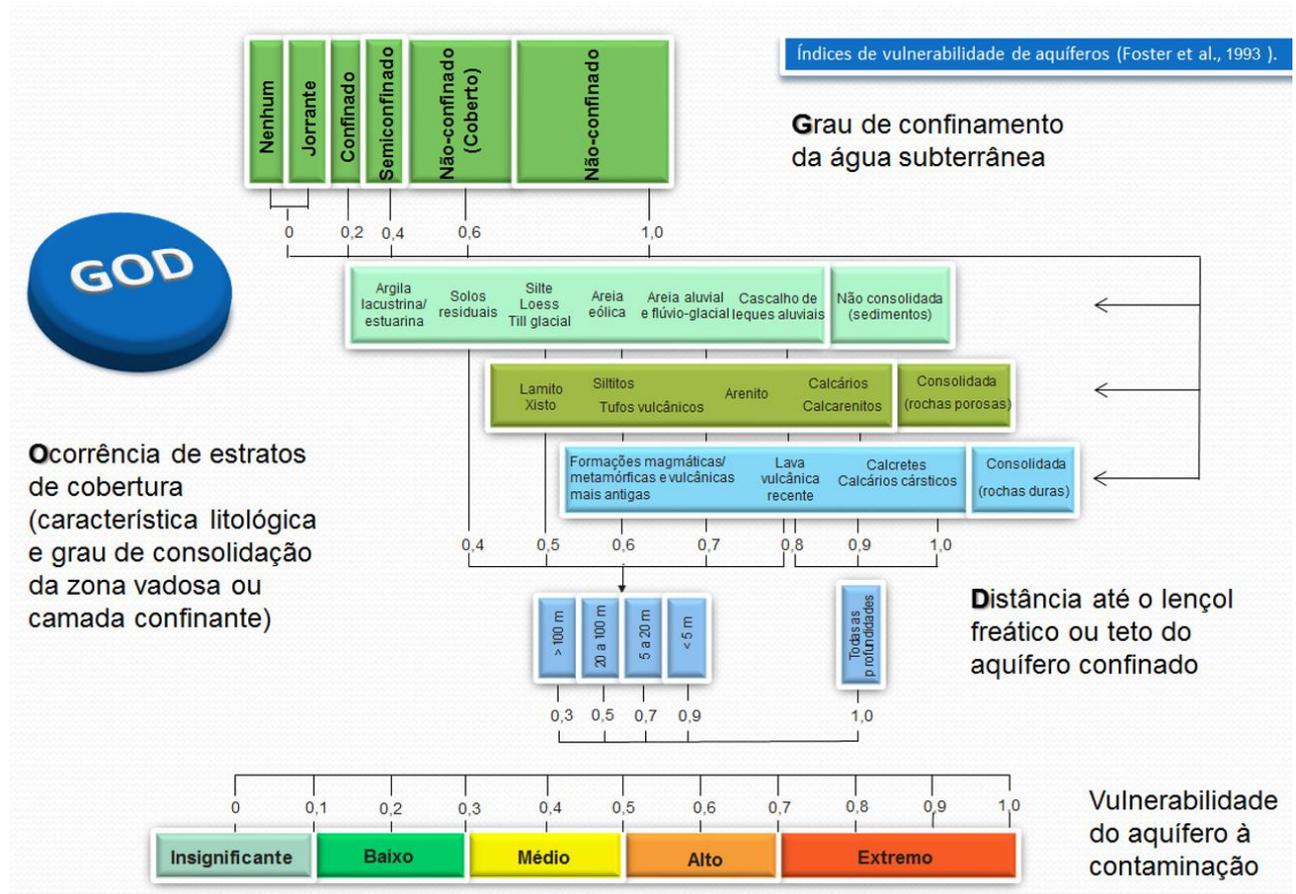


Figura 1.59 - Índices de vulnerabilidade de aquíferos (Foster et al., 1993).

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 1.59).

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 (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 1.59. 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 Sebastião do

Caí foram distinguidas em campo as unidades Botucatu, Pirambóia e Santa Maria, constituintes do SAG. Estas unidades foram classificadas segundo os índices do substrato geológico estabelecidos no Quadro 1.27 para estimativa da vulnerabilidade pelo método GOD, tendo como referência estudo publicado pelo IG (1997). Para o caso das coberturas aluvionares de características arenosas e inconsolidadas sobrejacentes ao SAG, adotou-se o índice de 0,9 para o parâmetro substrato geológico, ou seja, admitiu-se que essas coberturas não proporcionam proteção adequada ao aquífero subjacente.

QUADRO 1.27 – 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)

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 1.59). 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 1.6.2.

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 1.59).

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 1.59). 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.

1.7.2 Mapa de Vulnerabilidade do SAG Aflorante da Área Piloto de São Sebastião do Caí

O mapa de vulnerabilidade do SAG na área piloto de São Sebastião do Caí, na escala 1:50.000, com base no método GOD, determinou somente quatro classes de vulnerabilidade variando entre baixa, média, alta e extrema (Figura 1.60). A distribuição percentual dessas classes é mostrada no Quadro 1.28.

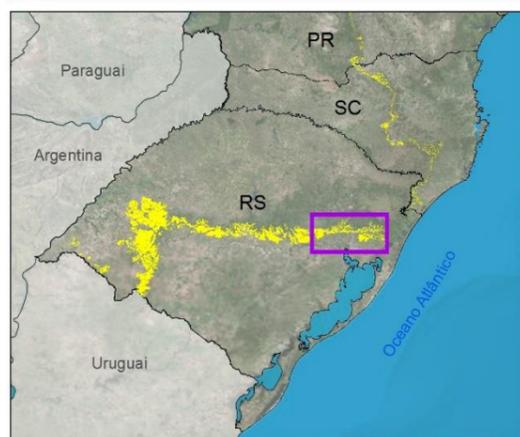
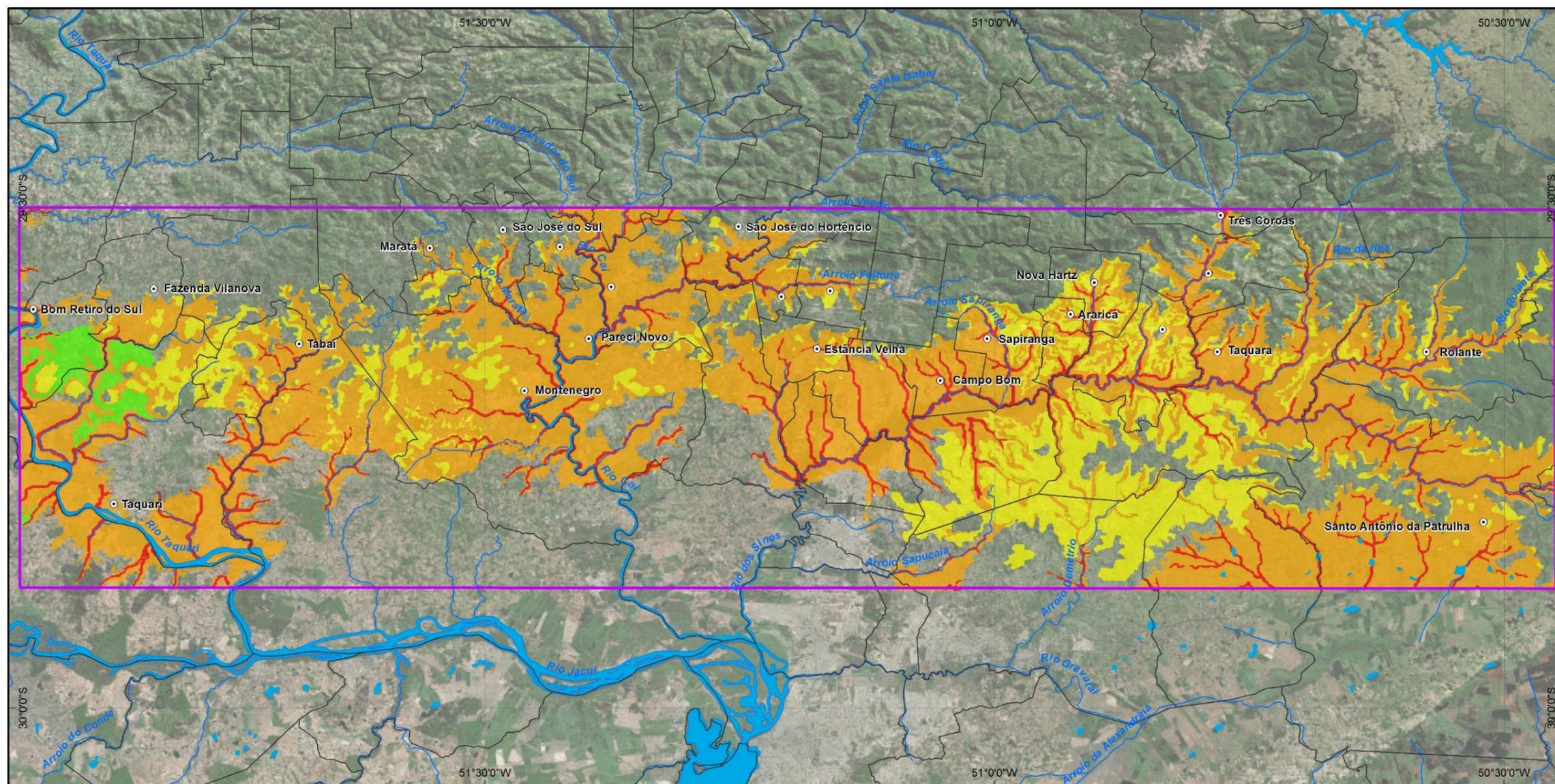
QUADRO 1.28 – DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE VULNERABILIDADE NATURAL DO SAG NA ÁREA PILOTO DE SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ

<i>Vulnerabilidade GOD</i>			
<i>Estado</i>	<i>Classes</i>	<i>Área (km²)</i>	<i>% do total</i>
Área piloto S. Sebastião Caí	Insignificante	0	0%
	Baixa	60	1,9%
	Média	649	20,4%
	Alta	2.184	68,5%
	Extrema	294	9,2%

Observa-se predomínio total das classes de vulnerabilidade alta e média, com 68,5% e 20,4% da área aflorante do SAG, respectivamente, confirmando a elevada susceptibilidade à contaminação das águas subterrâneas do aquífero na área piloto. Ao contrário, a classes de vulnerabilidade baixa é pouco expressiva, com apenas 1,9%, ao passo que a classe extrema chega a 9,2%. Em comparação com a distribuição das classes de vulnerabilidade estimadas para todo o SAG no Rio Grande do Sul (Quadro 1.29), percebe-se um incremento na classe de vulnerabilidade alta no piloto em detrimento de uma diminuição na classe média, como resposta direta do substrato geológico composto predominantemente pelas formações Botucatu e Pirambóia.

QUADRO 1.29 – DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE VULNERABILIDADE NATURAL DO SAG NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

<i>Vulnerabilidade GOD</i>			
<i>Estado</i>	<i>Classes</i>	<i>Área (km²)</i>	<i>% do total</i>
RS	Insignificante	0	0%
	Baixa	2.868	16,6%
	Média	8.015	46,3%
	Alta	4.957	28,6%
	Extrema	1.475	8,5%



Convenções cartográficas

- Rios
- Massas d'água
- Sedes Municipais
- Limites Municipais
- Área piloto no RS

Índice de Vulnerabilidade Natural (Método GOD)



Localização da área-piloto no estado do Rio Grande do Sul

Figura 1.60 – Mapa de vulnerabilidade do SAG na área piloto de São Sebastião do Caí. Em cores esmaecidas são representadas as classes de vulnerabilidade das unidades sedimentares mais jovens.

1.8 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 demoraadamente 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.

1.8.1 Método para Elaboração do Mapa de Classificação de Fontes Pontuais de Contaminação do SAG na Área Piloto de São Sebastião do Cai

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 IG (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 1.30, para diferentes tipologias definidas pela CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo).

QUADRO 1.30 - 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 gradação em termos de periculosidade a partir das informações sobre os tipos de poluentes envolvidos nas diversas atividades (IG, 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 Sebastião do Caí.

O CTF é o mais completo e abrangente em razão de possuir representatividade adequada em todos os estados, atividades enquadradas em grupos e critérios preestabelecidos de estimativa do grau de risco, conforme discutido no item 1.4.

Aplicando-se o método POSH (*Pollutant Origin and its 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 1.31.

QUADRO 1.31 – CLASSIFICAÇÃO COMPARATIVA DE ATIVIDADES POTENCIALMENTE POLUIDORAS OU UTILIZADORAS DE RECURSOS NATURAIS

Código	Classificação	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
4	Indústria Mecânica	Médio	Elevado
5	Indústria de Material Elétrico, Eletrônico e Comunicações	Médio	Elevado
6	Indústria de Material de Transporte	Médio	Elevado
7	Indústria de Madeira	Médio	Reduzido
8	Indústria de Papel e Celulose	Alto	Moderado
9	Indústria de Borracha	Pequeno	Moderado
10	Indústria de Couros e Peles	Alto	Moderado
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 1.32.

QUADRO 1.32 – 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.

1.8.2 Mapa de Classificação de Fontes Pontuais de Contaminação do SAG da Área Piloto de São Sebastião do Caí

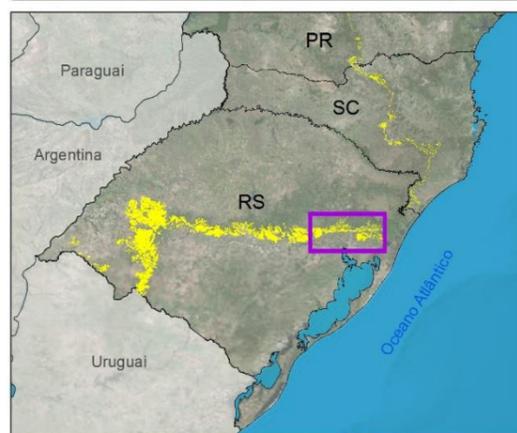
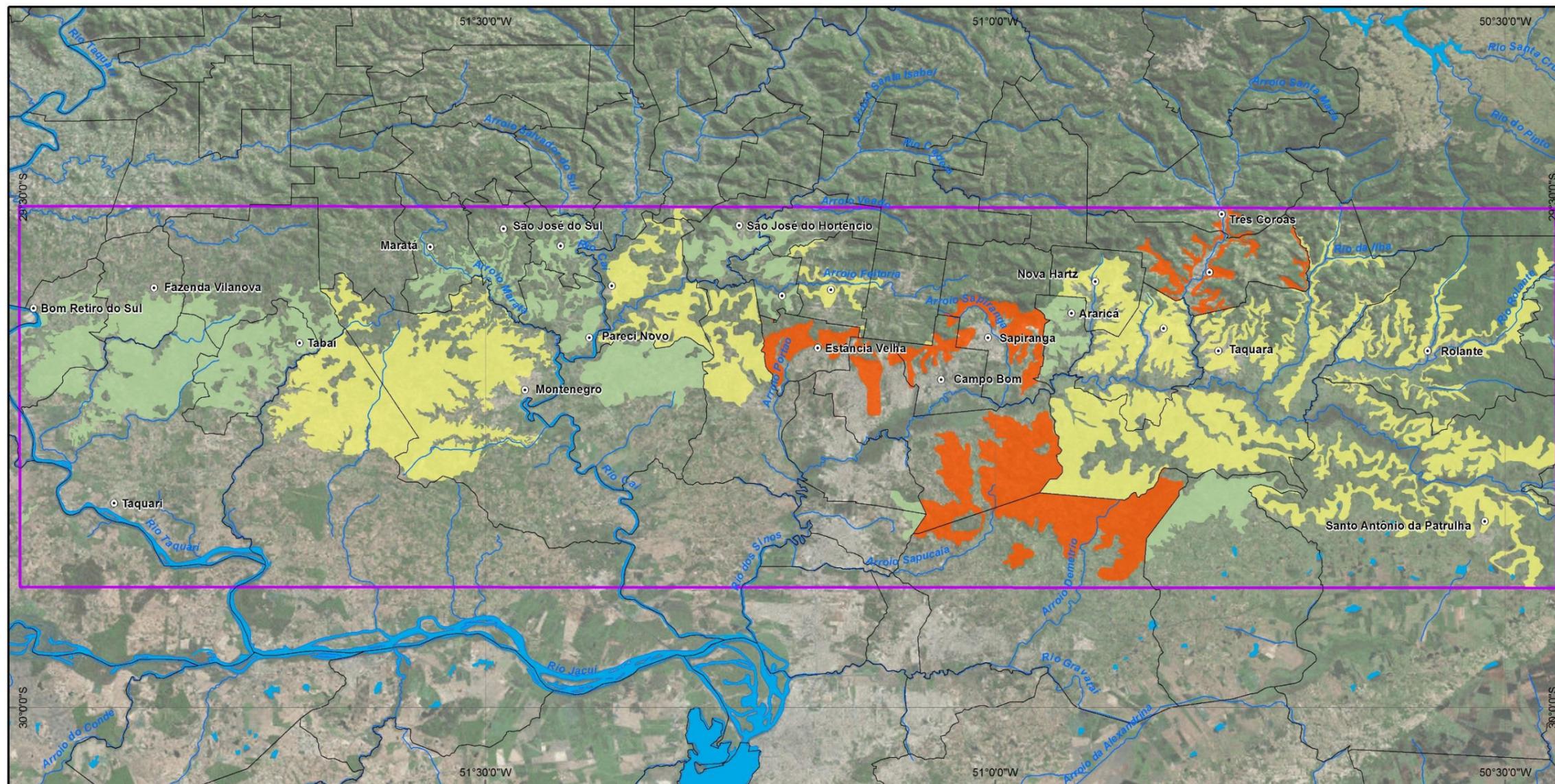
De acordo com o CTF, foram identificados 4.215 empreendimentos em 41 municípios com áreas seccionadas por afloramentos do SAG, classificados com base no método POSH em potencial contaminante elevado (585), moderado (2.786) e reduzido (844) (Quadro 1.33). Dentre estes municípios, 25 possuem a sede administrativa situada até no máximo 2 km de distância das áreas de exposição do aquífero.

A distribuição de empreendimentos com potencial de risco de contaminação mostra que o município Novo Hamburgo é o que apresenta a maior quantidade (971) em todas as classes de potencial de contaminação, respectivamente 232, 641 e 98 para as classes “elevado”, “moderado” e “reduzido”. Subordinadamente vem municípios como Gravataí, Sapiranga e Igrejinha, com cerca da metade de empreendimentos potencialmente poluentes em relação a Novo Hamburgo.

Aplicando o método de classificação de risco potencial de contaminação (Quadro 1.32) proposto em SMA (2010), os 41 municípios da área piloto de São Sebastião do Caí foram distinguidos em três classes, sendo 22 classificados como de potencial contaminante reduzido, 12 como de potencial moderado e 7 como de potencial elevado, conforme ilustrado na Figura 1.61.

QUADRO 1.33 – RISCOS POTENCIAIS NA ÁREA PILOTO DE SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ (RS) EM RELAÇÃO A FONTES PONTUAIS CONTAMINANTES

Município	Nº de Fontes Potenciais por classe de risco			
	Elevado	Moderado	Reduzido	Total
Araricá	3	27	10	40
Bom Princípio	2	36	56	94
Bom Retiro do Sul	1	12	7	20
Brochier	1	7	16	24
Campo Bom	40	197	17	254
Capela de Santana	3	9	7	19
Caraá	0	2	6	8
Cruzeiro do Sul	1	8	16	25
Dois Irmãos	6	107	33	146
Estância Velha	31	140	24	195
Fazenda Vilanova	0	3	5	8
Feliz	6	32	22	60
General Câmara	2	3	8	13
Glorinha	2	2	11	15
Gravataí	98	154	89	341
Harmonia	0	3	9	12
Igrejinha	10	277	21	308
Ivoti	4	48	8	60
Lindolfo Collor	1	9	1	11
Maratá	0	6	6	12
Montenegro	15	55	27	97
Nova Hartz	6	126	7	139
Novo Hamburgo	232	641	98	971
Pareci Novo	1	3	3	7
Parobé	7	68	20	95
Paverama	2	9	7	18
Portão	18	48	12	78
Presidente Lucena	0	3	5	8
Riozinho	0	6	10	16
Rolante	4	35	34	73
Santo Antônio da Patrulha	8	36	29	73
São Francisco de Paula	0	19	50	69
São José do Hortêncio	0	10	3	13
São Sebastião do Caí	4	37	22	63
Sapiranga	29	268	19	316
Tabaí	0	6	12	18
Taquara	11	44	46	101
Taquari	8	17	22	47
Três Coroas	1	231	17	249
Triunfo	26	34	24	84
Tupandi	2	8	5	15
Total	585	2.786	844	4.215



Localização da área-piloto no estado do Rio Grande do Sul

Convenções cartográficas

- Rios
- Massas d'água
- Sedes Municipais
- Área piloto no RS

Classificação do Potencial de Contaminação

- Reduzido
- Moderado
- Elevado

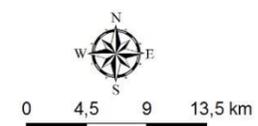


Figura 1.61 - Mapa de classificação do potencial de contaminação das águas subterrâneas do SAG na área piloto de São Sebastião do Caí (RS), por fontes pontuais.

Em Novo Hamburgo predominam as indústrias têxteis, de vestuário, de calçados e de artefatos de tecidos (268 empreendimentos). Subordinadamente ocorrem indústrias mecânicas (148 empreendimentos) e empreendimentos de transporte, terminais, depósitos e comércio (115 empreendimentos). No município de Gravataí predominam as indústrias de madeira (86 empreendimentos), seguidas dos empreendimentos de transporte, terminais, depósitos e comércio (66 empreendimentos) e das indústrias mecânicas (45 empreendimentos). Em Sapiranga e Igrejinha também predominam as indústrias têxteis, de vestuário, de calçados e de artefatos de tecidos, respectivamente com 197 e 251 empreendimentos.

1.8.3 Método para Elaboração do Mapa de Perigo de Contaminação do SAG por Fontes Difusas na Área Piloto de São Sebastião do Caí

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 os 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 Sebastião do Caí foi elaborado na escala 1:50.000 com base na classificação de imagens aéreas, conforme explicação no item 1.3 e distinguiu as classes de uso mostradas no Quadro 1.34.

QUADRO 1.34 – CLASSES DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

<i>Classe</i>	<i>km²</i>	<i>%</i>	<i>Afloramento (km²)</i>	<i>%</i>
Campo/ Pasto	1.801,0	29,8%	523,2	32
Mata	1.439,2	23,8%	457,5	27,9
Silvicultura	1.305,1	21,6%	357,6	21,8
Cultura Anual	534,2	8,9%	164,6	10,1
Urbanas	292,6	4,8%	61,4	3,8
Cultura Anual - Arroz	202,1	3,3%	2,4	0,1
Mata ciliar ou de Galeria	195,9	3,2%	11,3	0,71
Cultura Perene	110,6	1,8%	47,9	2,91
Campos úmidos ou de Várzea	56,6	0,9%	1,2	0,07
Lagos	34,7	0,6%	3,6	0,22
Rios	26,7	0,4%	0	-
Indústrias	20,0	0,3%	3,2	0,2
Refinaria	7,8	0,1%	0	-
Mineração	5,5	0,09%	2,1	0,13
Solo exposto	3,2	0,05%	1	0,06
Total	6.035,3	100,00%	1.637,0	100

As classes de uso da terra foram classificadas segundo o potencial de risco de contaminação decorrentes das atividades agrícolas com base na classificação dos Domínios Pedomorfoagroclicmáticos proposta por Gomes (2008), conforme ilustra a Figura 1.40 e o Quadro 1.35.

QUADRO 1.35 – CLASSIFICAÇÃO DO POTENCIAL CONTAMINANTE EM FUNÇÃO DO USO DA TERRA

<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 avaliação do perigo de contaminação das áreas de afloramento do SAG, por fontes potenciais difusas, envolve o cruzamento de informações do potencial de contaminação decorrente de atividades relacionadas ao uso e ocupação da terra com a vulnerabilidade natural do terreno à contaminação. O perigo de contaminação é maior quando atividades com alto potencial de contaminação se desenvolvem em áreas onde o aquífero possui alta vulnerabilidade natural à contaminação. À medida que as condições do grau de vulnerabilidade e do potencial de contaminação das atividades diminuem, por consequência, também diminui o perigo (SMA, 2010). Do ponto de vista prático, esta avaliação é feita por meio de sobreposição do mapa de classes de uso e ocupação com o mapa de vulnerabilidade.

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 1.36. 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).

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 1.36). Além disso, a mesma metodologia foi aplicada para as formações sotopostas ao SAG (com exceção da Formação Serra Geral, que exigiria metodologia específica).

QUADRO 1.36 – 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

1.8.4 Mapa de Perigo de Contaminação do SAG por Fontes Difusas da Área Piloto de São Sebastião do Caí

A classificação do potencial contaminante de acordo com o tipo de cultura, proposta por Gomes (2008), para área piloto de São Sebastião do Caí, definiu três classes principais de atividades agrícolas, compreendendo culturas anuais, perenes e pastagens (Quadro 1.37).

QUADRO 1.37 – POTENCIAL DE CARGA CONTAMINANTE ASSOCIADO ÀS PRINCIPAIS ATIVIDADES AGRÍCOLAS NA ÁREA PILOTO DE SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ

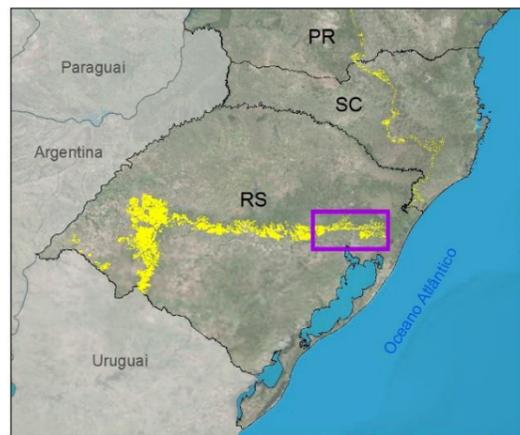
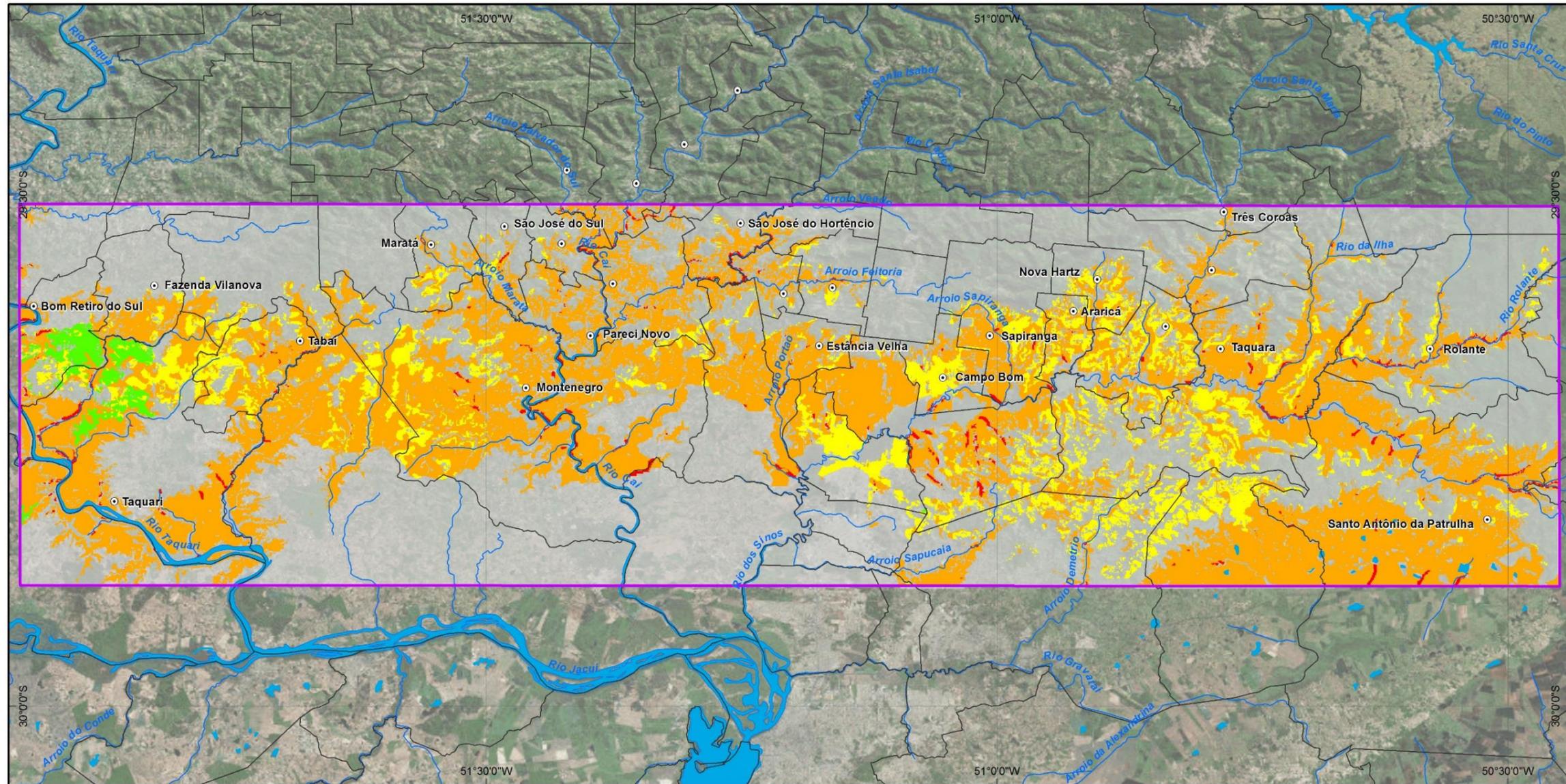
<i>Fonte de Atividades agrícolas</i>	<i>Potencial de carga contaminante</i>
Pastagens	Moderado
Culturas anuais	Elevado
Culturas perenes	Moderado

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 e classes vulneráveis de geologia, tais como os pacotes sedimentares, gerou uma classificação de perigo de contaminação distribuída nas classes, alto, moderado e baixo, de acordo com o Quadro 1.38, para áreas do piloto de São Sebastião do Caí.

A classe de perigo de contaminação “alto” compreende 30,3% de toda a área de afloramento do SAG no piloto de São Sebastião do Caí, ao passo que a classe moderado atinge 6,81% da área. As demais classes, variando entre extremo e baixo, compõem com inexpressivos 0,71%. É importante destacar que a área classificada compreende as áreas de afloramento do SAG acrescidas de um buffer de 1km, conforme mostra a Figura 1.62 que apresenta o mapa de perigo de contaminação da área piloto de São Sebastião do Caí.

QUADRO 1.38 – CLASSIFICAÇÃO DO PERIGO DE CONTAMINAÇÃO NA ÁREA PILOTO DE SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ (RS)

<i>Área piloto de São Sebastião do Caí (RS)</i>		
<i>Classes</i>	<i>Área km²</i>	<i>%</i>
Extremo	41	0,68%
Alto	1.829	30,31%
Moderado	411	6,81%
Baixo	43	0,71%
Desprezível	0	0,00%
Sem classificação	3.711	61,49%
Total	6.035	100,0%



Localização da área-piloto no estado do Rio Grande do Sul

Convenções cartográficas

- Rios
- Massas d'água
- Sedes Municipais
- Limites Municipais
- Área piloto no RS

Classificação dos Perigos de Contaminação

- Baixo
- Moderado
- Alto
- Extremo
- Sem classificação

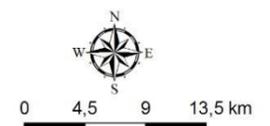


Figura 1.62 – Mapa de perigo de contaminação do SAG aflorante na área piloto de São Sebastião do Caí, por fontes difusas.

2. ESTRATÉGIAS DE PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SAG

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 III são destacadas algumas estratégias específicas para a área piloto de São Sebastião do Caí.

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 Sebastião do Caí, 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 Sebastião do Caí.

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 Sebastião do Caí, os seus Planos de Manejo devem considerar a localização das áreas de proteção do SAG, quando aplicável.

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 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 dos 55 municípios localizados na área piloto de São Sebastião do Caí 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.

Esse tipo de avaliação de risco, normalmente utilizado para orientar a decisão sobre o tipo de remediação ou medidas de limpeza, em geral, é balizado pelos seguintes critérios (Busmaster E Lear, 1991, apud Foster et al., 2006):

- ✓ onde a probabilidade de impactos sobre a saúde é de 95%, numa escala de 1:100.000, é essencial iniciar obras de remediação imediatamente;
- ✓ onde o valor correspondente se situa entre 1:100.000 e 1:1.000.000, recomendam-se análises mais criteriosas para avaliar incertezas e custo-benefício; e
- ✓ abaixo do último nível, em geral nenhuma medida é tomada.

O critério a ser adotado deve ser definido caso a caso, dependendo das informações e dados disponíveis.

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 seguida 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 Sebastião do Caí.

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 patológicos, 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 presentível 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 com 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 da água subterrânea captada por meio de poços e a quantidade de água passível de extração no aquífero, que constituem informações essenciais para determinação dos indicadores de disponibilidades hídricas do SAG, um dos parâmetros utilizados para o estabelecimento 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.

O outro indicador utilizado para estabelecimento das áreas de restrição e controle é a qualidade da água subterrânea, que 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 Quadro 2.1.

QUADRO 2.1 – AMOSTRAS DE ÁGUA DE POÇOS COLETADAS DURANTE A PRIMEIRA CAMPANHA, COM PARÂMETROS ACIMA DOS VALORES MÁXIMOS PERMITIDOS PELA PORTARIA MS 2.914/11.

<i>Amostra</i>	<i>UF</i>	<i>Município</i>	<i>Íons</i>	<i>VMP (2.914/11) (mg/l)</i>	<i>Valor obtido (mg/L)</i>
GS145	RS	São Francisco Assis	Nitrato	44	83,2
GS146	RS	Santa Maria			58,1
GS153	RS	Santana do Livramento			51,2
GN050	MS	Nioaque			102
GN100	MT	Alto Araguaia			113
GN114	MT	Alto Araguaia			47,3
GS169	SC	Urubici	Ferro	0,3	0,5
GN047	GO	Mineiros			1,47
GS169	SC	Urubici	Manganês	0,1	0,64
GN052	MS	Nioaque			0,11
GN100	MT	Alto Araguaia			1,62
GN111	MT	Alto Araguaia			0,13
GN114	MT	Alto Araguaia			0,25
GS086	RS	Restinga Seca	Fluoreto	1,5	1,8
GS148	RS	Santa Maria			2,01
GS148	RS	Santa Maria	Sódio	200	448
GS148	RS	Santa Maria	Sulfato	250	444
GS167	SC	Timbé do Sul		250	255

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.

Conforme apresentado no item 1.5.3, apenas em 2 amostras foram detectados valores acima do máximo permitido para fluoreto (GS 180 e GS 197), 2 amostras para mercúrio (GS 195 e GS 210) e 2 com fenóis no VMP e 1 acima. Observa-se que os teores de mercúrio da amostra GS 195 estão 9 vezes acima do VMP, portanto, investigações devem ser feitas acerca da origem deste elemento. Com relação ao conteúdo bacteriológico, 4 amostras apresentaram resultados positivos para coliformes totais e 1 para fecais, com altas correlações de nitrato e cloreto, mas abaixo do VMP. Todas associadas às zonas urbanas de São Sebastião do Caí e Rolante.

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 projeto-piloto de São Sebastião do Caí, no momento atual.

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 km². 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 do Rio Grande do Sul foram delimitadas seis regiões potenciais com áreas variando entre 10 km² e 20 km², localizadas nos municípios de Agudo, Dona Francisca, Faxinal do Soturno, Ivorá, Nova Palma, Paraíso do Sul, Santa Maria e Silveira Martins. De acordo com os critérios estabelecidos, a área piloto de São Sebastião do Caí não comporta nenhuma região potencial para estabelecimento de área de proteção do SAG.

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
Límites 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 2.1). 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 (m³/d); n_e= porosidade efetiva das rochas do aquífero.

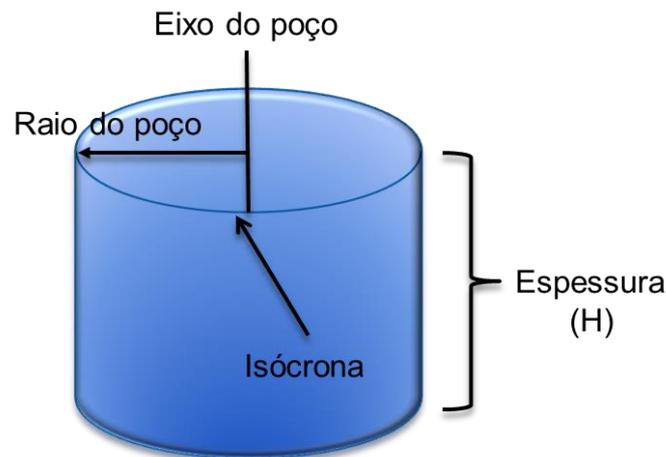


Figura 2.1 - Balanço de água para fluxo radial em direção ao poço, em domínio delimitado por isócrona de tempo de residência “t”.

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:

$$R = \sqrt{\frac{Qt}{N\pi t + n_e \pi H}} \quad (\text{Equação 2.2})$$

Quando “t” torna-se relativamente muito grande, o raio “R” representa a zona de contribuição total, de modo que:

$$R \cong \sqrt[2]{\frac{Q}{N\pi}} \quad (\text{Equação 2.3})$$

Esta equação é conhecida como o método da recarga (USEPA, 1993).

Quando o termo “Nπt” torna-se muito pequeno, a equação reduz-se a:

$$R \cong \sqrt[2]{\frac{Qt}{n_e\pi H}} \quad (\text{Equação 2.4})$$

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 2.2) torna-se distorcida (Todd, 1959).

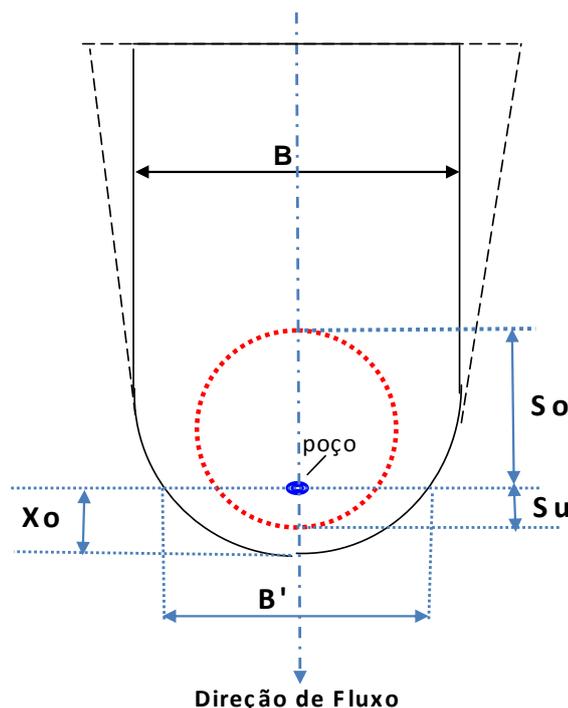


Figura 2.2 - Parâmetros de cálculo pelo método Wyssling (Iritani & Ezaki, 2010, modificado de Wyssling, 1979).

No Método de Wyssling são utilizadas duas equações para cálculo da distância do poço à montante (So) e à jusante (Su), na direção do fluxo natural, conforme escritas abaixo:

$$B = \frac{Q}{Kbi} \quad (\text{Equação 2.5})$$

$$B' = B / 2 = \frac{Q}{Kbi} \quad (\text{Equação 2.6})$$

$$X_0 = \frac{Q}{2\pi Kbi} \quad (\text{Equação 2.7})$$

$$S_0 = \frac{+l + \sqrt{l(l + 8X_0)}}{2} \quad (\text{Equação 2.8})$$

$$S_u = \frac{-l + \sqrt{l(l + 8X_0)}}{2} \quad (\text{Equação 2.9})$$

A variável "L" das equações é dada por:

$$l = Ve \cdot t \quad (\text{Equação 2.9}) \quad \text{e} \quad Ve = \frac{Ki}{n_e} \quad (\text{Equação 2.10})$$

Onde: B= largura da zona de captura a jusante (m), B'= largura da zona de captura a montante (m), Q=vazão de exploração (m³/d), K= condutividade hidráulica (m/d), b=espessura do aquífero (m), i= gradiente hidráulico (m/m), X₀= distância do poço ao ponto neutro a jusante (m), S₀= 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 m². 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 Sebastião de Caí é composto pelas formações Santa Maria, Guará e Caturrita, de ocorrência restrita ao Rio Grande do Sul, e Pirambóia e Botucatu, de ocorrência generalizada pelos demais estados que abrangem esse aquífero. 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 ² /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 (m³/d); H= espessura saturada (m); n_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 Sebastião do Caí.

QUADRO 2.5 - EXEMPLOS DE CÁLCULOS DO PERÍMETRO DE PROTEÇÃO DE POÇOS (PPP) PARA AS CONDIÇÕES NO COMPARTIMENTO SUL

<i>Exemplos de cálculos de perímetros de proteção de poços</i>					
<i>Unidades hidroestratigráficas</i>	<i>ne (%)</i>	<i>t(d)</i>	<i>H (m)</i>	<i>Q (m³/d)</i>	<i>Perímetro - R (m)</i>
Botucatu	0,20	365	100	2000	107,8
Pirambóia	0,15	365	200	2000	88,0
Guará	0,15	365	100	2000	124,5
Caturrita	0,12	365	60	1000	127,1
Santa Maria	0,12	180	100	1000	69,1

2.6 DIRETRIZES PARA ELABORAÇÃO DE NORMAS PARA PROTEÇÃO DO SAG NA ÁREA PILOTO DE SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ

O presente item tem por objetivo indicar, inicialmente, as bases legais e conceituais no que se refere à legislação vigente estado de Rio Grande 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.

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.

Para tanto, a 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 Sebastião do Caí, que envolve 55 municípios do Estado do Rio Grande do Sul, 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.

2.6.1 Legislação do Estado do Rio Grande do Sul (RS)

No Estado do Rio Grande do Sul vigora a Lei nº 10.350/1994³, que instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos, estabelecendo, que os recursos hídricos são considerados na unidade do ciclo hidrológico, compreendendo as fases aérea, superficial e subterrânea, e tendo a bacia hidrográfica como unidade básica de intervenção.

A referida Política Estadual mostra preocupação com a proteção das águas subterrâneas, definindo, inclusive, como seu objetivo, promover a harmonização entre os múltiplos e competitivos usos dos recursos hídricos e sua limitada e aleatória disponibilidade temporal e espacial, de modo a, entre outros, impedir a degradação e promover a melhoria de qualidade e o aumento da capacidade de suprimento dos corpos de água, superficiais e subterrâneos, a fim de que as atividades humanas se processem em um contexto de desenvolvimento socioeconômico que assegure a disponibilidade dos recursos hídricos aos seus usuários atuais e às gerações futuras, em padrões quantitativa e qualitativamente adequados⁴.

A Lei nº 10.350/1994 institui instrumentos para a proteção das águas, determinando nos arts. 35 e 36 as infrações e penalidades a que estão sujeitos os usos em desconformidade com a proteção das águas subterrâneas. Qualquer empreendimento ou atividade que faça uso das águas superficiais ou subterrâneas, de modo a alterar suas condições quantitativas, qualitativas, ou ambas, dependerá de outorga, observado o Plano Estadual de Recursos Hídricos e os planos de Bacia Hidrográfica⁵, no entanto, ficam dispensados da outorga os usos de caráter individual para satisfação das necessidades básicas da vida⁶.

O Estado do Rio Grande do Sul editou o Decreto nº 37.033/1996 para regulamentar especificamente a outorga do direito de uso da água, prevista nos artigos 29, 30 e 31 da Lei nº 10.350/1994, detalhando seu procedimento, inclusive em relação às águas subterrâneas.

Coube ao Decreto nº 42.047/2002 regulamentar as disposições da Política Estadual de Recursos Hídricos, no que se refere ao gerenciamento e à conservação das águas subterrâneas e dos aquíferos, estabelecendo que a interações com as águas superficiais, observadas no ciclo hidrológico, sempre serão consideradas na administração do aproveitamento das águas

³ Alterada pelas Leis nº 11.560/2000 e 11.685/2001.

⁴ Lei nº 10.350/1994, 2º, III.

⁵ Lei nº 10.350/1994, 29.

⁶ Lei nº 10.350/1994, 31.

subterrâneas⁷, o que configura a interconexão entre elas. As águas subterrâneas deverão ser objeto de programas permanentes de pesquisa, conservação e proteção, visando ao seu melhor aproveitamento⁸, devendo seu gerenciamento englobar: a avaliação dos recursos hídricos subterrâneos e o planejamento do seu aproveitamento racional; e a aplicação de medidas relativas à proteção e conservação dos recursos hídricos subterrâneos⁹.

A implantação de projetos de quaisquer naturezas que utilizem água subterrânea, ou ponham em risco sua qualidade natural ou quantidade, é sujeita à aprovação (outorga) dos órgãos e das entidades competentes, devendo ser precedida de estudos hidrogeológicos que permitam avaliar o potencial disponível e o correto dimensionamento do sistema de abastecimento e o tratamento de efluentes¹⁰.

As obras destinadas à captação de águas subterrâneas, mesmo aquelas executadas com o objetivo de atender a estudos, projetos e pesquisas, dependem de autorização prévia para sua execução e devem ser cadastradas no órgão competente. As captações subterrâneas devem fazer parte do Cadastro Geral dos Usuários de Água do Estado¹¹.

Os usos das águas subterrâneas estaduais são passíveis de outorga, estando dispensadas as captações insignificantes de águas subterrâneas, com vazão média mensal de até dois metros cúbicos por dia ou com a finalidade de uso de caráter individual e para a satisfação das necessidades básicas da vida, ficando, porém sujeitas ao cadastramento e à fiscalização dos órgãos responsáveis¹².

No Estado do Rio Grande do Sul, é vedada qualquer ação, omissão ou atividade que intencionalmente, ou não, possa causar poluição às águas subterrâneas¹³ e todos os projetos de implantação ou ampliação de empreendimentos que apresentem riscos de poluição dessas águas deverão conter estudos detalhados de caracterização hidrogeológica e de vulnerabilidade dos sistemas aquíferos, bem como projeto de medidas de proteção, controle e monitoramento. Os resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, provenientes de qualquer atividade, só poderão ser armazenados ou lançados de forma a não poluírem as águas subterrâneas, obedecendo aos padrões de emissão de poluentes estabelecidos em legislação ambiental específica¹⁴.

As áreas de proteção dos aquíferos serão estabelecidas a partir de estudos hidrogeológicos e ambientais, sendo classificadas em: Áreas de Proteção Máxima; e Áreas de Proteção de Poços e Outras Captações¹⁵. Nas áreas de proteção de poços e outras captações subterrâneas, será instituído um Perímetro Imediato de Proteção Sanitária que abrange um raio mínimo de 10m a

⁷ Decreto nº 42.047/2002, art. 3º, parágrafo único.

⁸ Decreto nº 42.047/2002, art. 2º.

⁹ Decreto nº 42.047/2002, art. 3º, I e II.

¹⁰ Decreto nº 42.047/2002, art. 13.

¹¹ Decreto nº 42.047/2002, art. 16, 17, 20 e 21.

¹² Decreto nº 42.047/2002, art. 18 e 19.

¹³ Decreto nº 42.047/2002, art. 25.

¹⁴ Decreto nº 42.047/2002, art. 26.

¹⁵ Decreto nº 42.047/2002, art. 28.

partir do ponto de captação, o qual deverá ser cercado e protegido, devendo seu interior estar resguardado da entrada ou da infiltração de poluentes¹⁶.

Além do Perímetro Imediato de Proteção Sanitária será estabelecido, com base em estudos hidrogeológicos, um perímetro de alerta contra poluição, o qual deverá ser coincidente com a Zona de Contribuição do poço, sendo que neste perímetro não poderá ser implantada qualquer atividade potencialmente poluidora¹⁷.

O não cumprimento das disposições legais relativas ao gerenciamento e à conservação das águas subterrâneas e dos aquíferos no Estado do Rio Grande do Sul, sujeitará o infrator às penalidades previstas na Política Estadual de Recursos Hídricos¹⁸. Sem prejuízo dessas penalidades, os poços abandonados, temporária ou definitivamente, e as perfurações realizadas para outros fins que não a extração de água, bem como os poços em operação que estejam causando poluição ou representem riscos, deverão, a critério do DRH ou FEPAM, ser adequadamente tamponados e lacrados por seus responsáveis de modo a evitar a poluição dos aquíferos ou acidentes.

O Decreto Estadual n.º 23.430/1974 aprova regulamento que dispõe sobre a promoção, proteção e recuperação da saúde pública e determina, em seu art. 83, que não será permitida, em qualquer circunstância, a conexão do sistema de abastecimento de água potável com outro destinado a abastecimento para outra finalidade. O art. 87 determina que somente pela rede pública de abastecimento de água potável, quando houver, far-se-á o suprimento da edificação, não sendo permitida, em qualquer circunstância, conexão das instalações domiciliares ligadas à rede pública com tubulação que contenha água proveniente de outras fontes de abastecimento. Além disso, o art. 96 estabelece que nas zonas servidas por rede de abastecimento de água potável, os poços serão tolerados exclusivamente para suprimento com fins industriais ou para uso em floricultura ou agricultura, devendo satisfazer às seguintes condições: serem convenientemente fechados, com tampa, no mínimo, a 0,40 m da superfície do solo; e serem dotados de bomba. Os poços não utilizados devem ser aterrados até o nível do terreno.

No Estado do Rio Grande do Sul, a Resolução CERH n.º 60/2009 dispõe sobre a outorga de captação de águas subterrâneas e autorização para perfuração de poços em áreas abastecidas por rede pública e dá outras providências, indicando, inclusive, que deverão ser observados os usos permitidos nos termos do art. 96 do Decreto Estadual n.º 23.430/1974, quais sejam os fins industriais ou para uso em floricultura ou agricultura¹⁹. Excepcionalmente poderão ainda ser permitidos os usos para lavanderias destinadas ao uso da coletividade, desde que o

¹⁶ Decreto n.º 42.047/2002, art. 30.

¹⁷ Decreto n.º 42.047/2002, art. 31.

¹⁸ Decreto n.º 42.047/2002, art. 3.

¹⁹ Resolução CERH n.º 60/2009, art. 1.º.

abastecimento público seja insuficiente²⁰. Além disso, a referida resolução define outros fins específicos aos quais poderão ser outorgadas as captações.

Sobre os mecanismos de proteção às águas subterrâneas, cabe destacar o art.10 da Resolução CERH nº 60/2009, alterado pela Resolução nº 71/2010, que determina que a outorga para captação de água subterrânea por meio de poços em empreendimentos onde exista a rede pública de abastecimento e que não necessitem de licenciamento ambiental, fica condicionada à comprovação do encaminhamento dos efluentes gerados à rede coletora pública, se houver, ou à apresentação de informações quanto ao destino final dos efluentes.

No Estado do Rio Grande do Sul a Resolução CERH nº 91/2011 aprova os critérios para a dispensa da outorga de direito de uso dos recursos hídricos, enquanto não estabelecidos pelo Plano de uma determinada Bacia Hidrográfica. Além disso, o Estado adota regras da ABNT para construção de poço tubular para captação de água subterrânea (NBR 12.244/2006) e para projeto de poço tubular para captação de água subterrânea. Por fim, em relação às águas subterrâneas, o Estado aplica o Edital nº 02/2003, para o cadastramento, junto ao DRH, de empresas que atuam na área de hidrogeologia e construção de poços tubulares.

A partir da análise da legislação, entende-se que as normas do Rio Grande do Sul, no que concerne às águas subterrâneas, estão voltadas à sua proteção, seja exigindo estudos para garantir que atividades não venham a causar poluição nem a superexploração, seja pela previsão de penalidades aos infratores, seja ainda pela adoção do conceito da gestão integrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

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 Rio Grande 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. Portando 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.

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 Sebastião do Caí, como o licenciamento ambiental,

²⁰ Resolução CERH nº 60/2009, art. 2º, parágrafo único.

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.²¹

As Unidades de Conservação (UC) devem dispor de um Plano de Manejo²², 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 unidade²³.

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 diretriz ora proposta é no sentido de que as normas instituidoras das Unidades de Conservação municipais 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 criação²⁴. 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 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

²¹ Lei nº 9.985/2000, art. 4º, VIII.

²² Lei nº 9.985/2000, art. 27.

²³ Lei nº 9.985/2000, art. 2º, XVII.

²⁴ Lei nº 9.985/2000, art. 27, § 3º.

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 Rio Grande 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.*²⁵

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 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.

²⁵ 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)

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 urbano²⁶. 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.

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.

²⁶ CF/88, art. 30, VIII.

Diretriz: Elaboração de norma estadual, condicionando o apoio aos municípios inseridos na área piloto de São Sebastião do Caí, 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 Sebastião do Caí 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, em especial das áreas de afloramento de aquíferos, no âmbito dos Planos de Saneamento.

3. CONCLUSÕES

Os estudos realizados na área piloto de São Sebastião do Caí (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 de São Sebastião do Caí identificou e mapeou rochas atribuídas às formações Botucatu (Jurássico/Cretáceo Inferior), Pirambóia (Triássico/Jurássico) e Santa Maria (Triássico), constituintes do SAG no Estado do Rio Grande do Sul, e às formações Sanga do Cabral, Rio do Rasto e Estrada Nova (Triássico Inferior a Permiano Superior), unidades correspondentes ao substrato deste sistema aquífero, e Serra Geral (Cretáceo Inferior), unidade constituída por rochas vulcânicas intercaladas e sobrejacentes ao SAG, além de depósitos de planícies aluvionares e colúvio aluviais. Para a interpretação estratigráfica adotada neste mapa foram consideradas as novas propostas desenvolvidas nos últimos anos, em especial os critérios estratigráficos propostos por Soares *et al.* (2008) e Lebac (2008) para as unidades mesozoicas reconhecidas na Bacia do Paraná, particularmente no Rio Grande do Sul.

Em termos gerais, o Rio Grande do Sul é marcado por uma clara divisão entre o sul, onde estão os grandes municípios, cidades distantes umas das outras e áreas cobertas por monoculturas extensivas, e o norte/nordeste, cujos municípios têm limites menores, com áreas urbanas mais próximas umas das outras e coberturas agrícolas ocupadas por policulturas. As pastagens, matas e áreas de silvicultura dominam mais de 70% da área piloto. As áreas cultivadas cobrem apenas 14% da área, distribuídas em culturas anuais e perenes.

Foram identificados 4.215 empreendimentos potencialmente contaminantes de recursos ambientais, com base no Cadastro Técnico Federal do IBAMA, nos 41 municípios integrantes total ou parcialmente da área piloto de São Sebastião do Caí. As classes de indústria têxtil e afins (1.456), indústria madeireira (860), e transporte, terminais e depósitos (540) são as que apresentam maior quantidade de empreendimentos cadastrados no IBAMA.

As águas subterrâneas do SAG do piloto de São Sebastião do Caí foram classificadas principalmente como bicarbonatadas cálcicas (74%), seguidas de bicarbonatadas sódicas (17%), cloretadas sódicas (4,5%) e sulfatadas cálcicas (4,5%). Os pHs das amostras de água oscilaram entre 6,4 e 9,2, com medianas de 7,5, e as condutividades elétricas situaram-se entre 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$

e 627 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com medianas de 220 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Essas águas estão dentro do padrão de potabilidade química exigidos pela legislação, com raras exceções. Quase todas as amostras apresentaram conteúdo bacteriológico positivo para coliformes totais. Uma amostra teve valor acima do VMP e duas tiveram valor equivalente ao VMP para o parâmetro fenóis. Não foram constatadas contaminações por agroquímicos e nitrato.

A maioria das amostras de água do SAG da área piloto do Rio Grande do Sul tem composição isotópica próxima à da Linha Meteorica Global (LMG), confirmando sua origem meteórica. Os dados isotópicos de estrôncio mostram similaridade com rochas das formações Botucatu e Serra Geral, e águas de chuva, dificultando interpretações acerca das interações água-rocha. A análise de trítio indica águas provenientes de mistura entre recarga submoderna e recarga recente.

O mapa hidrogeológico do SAG na área piloto de São Sebastião do Caí revela claramente a existência de fluxos subterrâneos locais e fluxos subterrâneos regionais, a exemplo das demais áreas de afloramento do aquífero nos demais estados onde ocorre. O fluxo subterrâneo local é aquele controlado pelas drenagens das microbacias e tem circulação restrita aos limites das mesmas. O fluxo regional dirige-se aproximadamente no sentido de norte para sul e é proveniente das áreas de confinamento do aquífero cobertas pelas rochas basálticas da Formação Serra Geral, nos limites setentrionais da área piloto. Estas águas são descarregadas à jusante principalmente nas áreas aluvionares extensas e planas das grandes bacias hidrográficas, como por exemplo as bacias dos rios dos Sinos, Caí, Santa Cruz e Taquari.

O mapa de vulnerabilidade da área piloto de São Sebastião do Caí, elaborado com base no método GOD, mostrou predomínio das classes de vulnerabilidade alta e média com 68,5% e 20,4% da área aflorante do SAG, confirmando a elevada susceptibilidade à contaminação das águas subterrâneas do aquífero na área piloto.

A aplicação método POSH (Pollutant Origin and its 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 mostra que, dos 41 municípios da área piloto, 22 foram classificados como de potencial contaminante reduzido, 12 como de potencial moderado e 7 como de potencial elevado.

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 Sebastião do Caí. A classe de perigo de contaminação “alto” distribui-se por 30,31% de toda a área de afloramento do SAG no piloto de São Sebastião do Caí, ao passo que a classe moderado atinge 6,81%. As demais classes, variando entre extremo e baixo, compõem com inexpressivos 1,39%. As áreas não classificadas alcançam 61,5% do total da área. 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 não distinguiu 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 km², de interesse para indicação como áreas de proteção de aquíferos.

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 para a unidade Botucatu, de 88 metros para a unidade Pirambóia, de 125 para a unidade Guará, de 127 para a unidade Caturrita e de 69 para a unidade Santa Maria.

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 de aquífero, direcionar aspectos de 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.
- ALVES, D.F. 2006. Os Impactos da Territorialização dos Assentamentos Rurais em Candiota – RS, Universidade Federal de Santa Maria: Santa Maria. Dissertação de Mestrado.
- ANDREIS, R.R.; BOSSI, G.E. & MONTARDO, D.K. 1980. O grupo Rosário do Sul (Triássico) no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camboriú (SC), Anais...Camboriú, SBG, v.2, p.659-673.
- ANDREIS, R.R.; LAVINA, E.L.; MONTARDO, D.K & TEIXEIRA, A.M.S. 1982. Considerações sobre os troncos fósseis da Formação Caturrita (Triássico Superior) no município de Mata, RS- Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., Salvador (BA), Anais...Salvador, SBG v.4, p. 1284-1295.
- 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.
- BARIGOSSO, J.A.F.; LANNA, A.C.; FERREIRA, E. 2004. Agrotóxicos no Cultivo do Arroz no Brasil: análise do consumo e medidas para reduzir o impacto ambiental negativo, Embrapa: Santo Antônio de Goiás.
- BESKOW, P. 1984. A Formação da Economia Arrozeira do Rio Grande do Sul, Ensaios FEE: Porto Alegre.
- CARRARO, C.C; GAMERMANN, N.; EICK, N.C; BORTOLUZZI, C.A; JOST, H. E PINTO, J.F. 1974. Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Escala 1:1.000.000. Instituto de geociências da UFRGS. Porto Alegre. RS.
- 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.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. 2009. Geologia e Recursos Minerais do Estado de Rio Grande do Sul. Mapa Geológico, escala 1: 750.000.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM AIS. 2009. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Escala 1:750.000. Porto Alegre. CPRM.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. 2008. Geologia da Folha de Gravataí. Escala 1:100.000. Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. 2006. Mapa Geológico Integrado – Projeto Diretor de Mineração da região Metropolitana de Porto Alegre, escala 1:250,000. Coordenação ZANINI, L. F. & DE BARROS PIMENTEL, G.
- 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.
- CRAIG, HARMON. 1961 .Isotopic variations in meteoric waters: Science, v. 133, p. 1,702–1,703.
- DE SANTA ANA, H. & VEROSLAVSKY, G. 2003. La tectosecuencia volcano sedimentaria de la Cuenca Norte (edad Jurásico – Cretácico Temprano). In: Veroslavsky, G.; Ubilla, M. & Martinez, S. (eds.). Cuencas sedimentarias de Uruguay: geología, paleontología y recursos naturales- mesozoico. Montevideo, DIRAC. p. 51-74,
- DE SANTA ANA, H.; VEROSLAVSKY, G.; FÚLFARO, V.J.; FERNÁNDEZ GARRASINO, C.A. 2006. Informe de Geología N°2. Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní. Informe Técnico. Montevideo. 198p.
- DEHNHARDT, E.A.; HORN F°, N.O.; LOSS, E.L.; TOMAZELLI, L.J.; VILLWOCK, J.A. & KOPPE, J.C. 1984. Mapa Geológico das Folhas Três Cachoeiras e Torres. CECO/Instituto de Geociências/Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul.
- 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.

- FACCINI, U.F. 1989. O permo-triássico do Rio Grande do Sul: uma análise sob o ponto de vista das sequências deposicionais. Porto Alegre. 121p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
- FETTER, C. W. 1993. Contaminant Hydrogeology. Department of Geology. University of Wisconsin-Oshkosh. Prentice Hall.
- 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.
- 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.
- GAT, J.R. 1996. Oxygen and Hydrogen Isotopes in the Hydrologic Cycle. *Rev. Earth Planet* v.24. 225-262p.
- 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.

- 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 Pecuária Municipal de 2012. Disponível em www.ibge.gov.br.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2013. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura de 2012. Disponível em www.ibge.gov.br.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2013. Produção Agrícola Municipal de 2012. Disponível em www.ibge.gov.br.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2011. Produção Agrícola Municipal. Disponível em www.ibge.gov.br.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2011. Atlas de Saneamento. Disponível em www.ibge.gov.br.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2010. Censo Demográfico. Rio de Janeiro: IBGE, Disponível em 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.
- 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>.
- IRITANI, M. A. & EZAKI, S. 2010. Roteiro orientativo para delimitação de área de proteção de poço. Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Instituto Geológico. Cadernos do Projeto Ambiental Estratégico Aquíferos. São Paulo. n.2, 50 p.
- 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.

- LAVINA, E.L. 1993. Procolophonpriceisp.n. um novo réptil procolofonídeo do Triássico do Rio Grande do Sul. *Iheringia*, 9: 51-78.
- LEBAC – LABORATÓRIO DE ESTUDOS DE BACIAS. 2008. Informe Final de Hidrogeologia do Projeto Aquífero Guarani. Coord.: Gastmans, D.& Chang, H.K.. Equipe: Paula e Silva, F.; Correa, S.F.;. Informe Técnico – Consórcio Guarani. Rio Claro, 172p.
- LEGRAND, 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.
- MACHADO, J.L.F. 2005. Compartimentação Espacial e Arcabouço Hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul, 238 p. Tese (Doutorado em Geologia). – Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). São Leopoldo (RS).
- 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.
- MATEI, A.P.; FILIPPI, E.E. 2012. O Bioma Pampa e o Desenvolvimento Regional do Rio Grande do Sul, 6º Encontro de Economia Gaúcha, Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Porto Alegre. Disponível em http://www.pucrs.br/eventos/eeg/download/Mesa8/O_Bioma_Pampa_e_o_Development_Regional_no_RS.pdf.
- NAVARRETE, C. M. & GARCÍA, A. G. 2003. Perímetros de protección para captaciones de água subterrânea destinada al consumo humano. Metodología y aplicación al território. *Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas*. Madrid: IGME.
- NOWATZI, C.H. & KERN, H.P. 2000. The folianites between Sanga do Cabral and Botucatu Formations in Rio Grande do Sul state, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 72 (2): 247-256.
- 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.
- OLIVEIRA, R.P.O.; SCHRODER, E.C.; ESSWEIN, F.J.; SCIVITTARO, W.B. 2011. Produção Orgânica de Citros no Rio Grande do Sul, Embrapa, Publicação Eletrônica. Disponível

em

http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/catalogo/tipo/sistemas/sistema20_novo/cap1_introducao.htm.

- PANZENHAGEN, NESTOR VALTIR. 2004. A Produção Orgânica de Citros no Vale do Rio Caí – RS, Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado
- 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.
- RIBEIRO, E.M.P.; SELIG, P.M.; NÁURI, M.H.; MELLO, P. 2005. Rizipsicultura: Indicadores Orientam os agricultores na redução dos impactos ambientais com ganhos energéticos de combustíveis comparativamente com a técnica convencional do arroz irrigado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, Revista Produto & Produção, Vol8, n.1, pags 19-30.
- SANTOS, T.; TREVIZAN, R. 2005. Eucaliptos versus Bioma Pampa: Compreendendo as Diferenças entre Lavouras de Arbóres e o Campo Nativo, SEMAPI: Porto Alegre. Disponível em <http://www.semapi.rs.gov.br/semapi2005/site/livro/cd%20rom/arquivos/07.pdf>.
- 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. 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.
- SOARES, P.C. 1975. Divisão Estratigráfica do Mesozóico no Estado de São Paulo. Revista Brasileira de Geociências, 5 (4): 251.
- SPECHT, S. 2009. O Território do Morango no Vale do Caí – RS: Análise pela perspectiva dos sistemas agroalimentares localizados, Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado.

-
- 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.
- 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.
- ZELTZER, F., DE CASTRO PAULA, C. & NOWATZI, CH. 1991. Mapa geológico da região do Vale do Rio Sinos, escala 1: 50.000. UNISINOS – Prefeitura Municipal São Leopoldo (RS).



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

