

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**SUBSÍDIOS PARA GESTÃO DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
SANTA MARIA/RS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Leonidas Luiz Volcato Descovi Filho

Santa Maria, RS, Brasil

2009

2009

Mestre

DESCOVI FILHO, Leonidas Luiz Volcato

PPGEC/UFSM, RS

**SUBSÍDIOS PARA GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA MARIA/RS**

por

Leonidas Luiz Volcato Descovi Filho

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil.**

Orientador: Prof. Dr. José Luiz Silvério da Silva

Santa Maria, RS, Brasil

2009

D448

Descovi Filho, Leonidas Luiz Volcato
Subsídios para gestão das águas subterrâneas na
Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria/RS/ por Leonidas
Luiz Volcato Descovi Filho. – 2009.
140 f. : Il. ; 30 cm.

Orientador: José Luiz Silvério da Silva.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de
Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2009.

1. Engenharia Civil 2. Recursos hídricos
3. Bacias hidrográficas 4. Águas subterrâneas
5. Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria (RS)
6. Gestão de recursos hídricos I. Silva, José Luiz
Silvério da II. Título.

CDU: 556.3

Ficha catalográfica elaborada por
Maristela Eckhardt - CRB-10/737

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**SUBSÍDIOS PARA GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA MARIA/RS**

elaborada por
Leonidas Luiz Volcato Descovi Filho

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA:

José Luiz Silvério da Silva, Dr.
(Presidente/Orientador)

Jussara Cabral Cruz, Dr. (UFSM)

Ricardo Simão Diniz Dalmolin, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 05 de outubro de 2009.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria

SUBSÍDIO PARA GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA MARIA/RS

AUTOR: LEONIDAS LUIZ VOLCATO DESCOVI FILHO

ORIENTADOR: JOSÉ LUIZ SILVÉRIO DA SILVA

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 05 de outubro de 2009.

O presente estudo visa fornecer subsídios para gestão das águas subterrâneas na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria-BHRSM. Localizada no sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul na borda da Bacia do Paraná na transição para o Escudo Uruguaio Sul-Riograndense, possui uma área de 15.797,300 km². Ocorrem aflorantes cerca de 16 formações geológicas Pavão (2004) destas o Sistema Aquífero Guarani ocorre em cerca de 36%. Estas áreas aflorantes representam áreas de recarga direta dos aquíferos e localmente de descarga na BHRSM. Reuniram-se em quatro Domínios Hidrogeológicos CPRM (2007). Os Domínios 1 e 2 formam Aquíferos porosos intergranulares 83,08%. Os Domínios 5 e 6 formam Aquíferos fissurais 16,92%. Elaborou-se uma proposta de utilização de escalas de abrangência para critério de outorga de uso das águas subterrâneas: Global, Regional e Local. Na escala Global consideraram-se 4 Domínios Hidrogeológicos; 3 Províncias e 7 Sub-Províncias; 7 Sistemas Hidrogeológicos (6 aquíferos e 1 aquífero) e 16 Unidades Hidroestratigráficas. A escala Regional considerou a Bacia Hidrográfica e suas 21 Seções Hidrológicas de Referência-SHR criadas para setorizar as águas superficiais. Elaborou-se um banco de dados hidrogeológicos relativos a 590 captações por poços. Espacializaram-se na forma de mapas temáticos, as cotas potenciométricas indicativas dos fluxos subterrâneos, a zona vadosa, as concentrações de Sólidos Totais Dissolvidos-STD, as concentrações dos nitratos e a vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos Método *GOD Foster et al.* (2006). Essas informações deram origem ao SIG-BHRSM contendo os *shapefiles* referentes aos planos de informações. O uso preponderante das águas subterrâneas é o abastecimento humano, dispondo-se de uma maior quantidade de informações em áreas urbanas e vazios em áreas rurais. O fluxo subterrâneo predominante tem direção sul-norte, acompanhando o caimento natural do terreno. A

potenciometria notou-se evidências de uma contribuição dos aquíferos para os escoamentos de base dos cursos de água, além de se constatar a existência de um fluxo transfronteiriço para o lado Uruguaio. As classes de vulnerabilidade foram: alta 35,6%, seguida da média 30,2%, baixa 26,5%, insignificante 5,7 % e na extrema 0,4%. As áreas com vazios de informação corresponderam a 1,1% da BHRSM. A sobreposição do critério concentrações de STD nas classes 1 e 2 ao da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas servirão de diretrizes para a implementação dos instrumentos de gestão de forma integrada com as demais políticas de proteção ao ambiente físico. Estas diretrizes foram espacializadas em três escalas: a Global igual ou menor a 1: 250.000 (generalizada), a Regional entre 1: 250.000 e 1: 50.000 (semi-detulhe) e a Local, de 1: 50.000 ou maior (maior detalhe). Esta segmentação em escalas visa subsidiar a implementação dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos subterrâneos em uma bacia hidrográfica.

Palavras Chave: SAG; SIG; critérios de gestão de recursos hídricos subterrâneos.

ABSTRACT

M.Sc. Dissertation
Post Graduation Program in Civil Engineering
Federal University of Santa Maria

**GRANTS FOR GROUNDWATER MANAGEMENT AT SANTA MARIA
RIVER BASIN/RS**

AUTHOR: LEONIDAS LUIZ VOLCATO DESCOVI FILHO
ADVISER: JOSÉ LUIZ SILVÉRIO DA SILVA
Place and Date of Defense: Santa Maria, October 05th, 2009.

This study aims to provide subsidies for groundwater management at the basin of Rio Santa Maria-BHRSM. Located in the southwest of Rio Grande do Sul state, Brazil, on the edge of Paraná Basin and transitioning towards the Uruguaio Sul-Riograndense Shield, has an area of 15,797,300 square kilometers. About 16 formations occur in outcrops Pavão (2004), of which 36% arises as the Guarani Aquifer System/GAS. The outcrop areas represent areas of direct recharge of GAS and of locally discharge on BHRSM. Four Hydrogeologic Domains have gathered CPRM (2007). Domains 1 and 2 form intergranular porous aquifers in 83.08%. Domains 5 and 6 form fissural aquifers in 16.92%. An outline for the use of draft coverage criteria was elaborated, for granting the use of groundwater: Global, Regional and Local. On the Global scale, were approached four Hydrogeologic Domains, three Hydrogeologic Provinces, seven Hydrogeologic Sub-Provinces; seven Hydrogeologic Systems (six aquifers and one aquitard) and sixteen Hydrostratigraphic Units. The Regional scale approaches the Catchment and its 21 Reference Hydrological Sections, designed for sectorizing the surface water studies and sometimes used for the management of groundwater. A database on 590 hydrogeological captures was developed. The potentiometric quotas indicating groundwater flow, vadose zone, concentrations of Total Dissolved Solids-TDS, nitrates concentrations and vulnerable to contamination of aquifers Method GOD Foster et al. (2006) were spacialized as thematic maps. The gathered information gave rise to the SIG-BHRSM shapefiles containing the plans relating to information for each theme. The preponderant use of groundwater supplies is human, by forming a greater amount of information in urban areas and gaps in rural areas. The predominant groundwater flow is south-to-north, along the trim of the natural terrain. As to the potentiometry, were acknowledged evidences of contribution of

groundwater to the Rivers base flow, establishing a cross-border Brazil-Uruguay flow and vice versa. The prevalent vulnerability classes were: high 35.6%, moderate 30.2%, low 26.5%, negligible 5.7% and extreme 0.4%. The areas with information gaps accounted 1.1% of BHRSM. The overlap of the TDS test concentrations in classes 1 and 2 to the vulnerability to contamination of groundwater will apply as guideline for the implementation of management tools, integrated with other policies to protect the physical environment. These guidelines have been spatialized into three scales: the Global scale accounting 1: 250,000 or less (in general), the Regional scale rating between. 1: 250,000 and 1: 50,000 (semi-detailed), and the Local rating 1: 50,000 or higher (greater detail). This segmentation in scales intends to subsidize the implementation of integrated management tools for groundwater resources in a basin.

Key-words: GAS; GIS; ground water resources management.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização da BHRSM/RS.....	3
Figura 2 - Aquífero Poroso-Granular. Fonte: Acervo LABHIDROGEO.....	10
Figura 3 - Aquífero Fissural constituído pela Formação Serra Geral. Fonte: Acervo LABHIDROGEO.....	11
Figura 4 - Representação de uma mesma distância em diferentes escalas. Fonte: Santos, 1990.....	22
Figura 5 - Seções Hidrológicas de Referência da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria-RS.....	24
Figura 6- Mapa Geológico da BHRSM/RS Fonte: Silveira <i>et al.</i> , (2003), adaptado por Pavão (2004).....	27
Figura 7 - Mapa Hidrogeológico da bacia do Rio Santa Maria.....	29
Figura 8 - Esboço preliminar da hidrogeologia de um perfil NW- SE, na BHRSM.....	34
Figura 9 – Mapa de Solos da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria Fonte: SM-SIG1 atualizado para o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos EMBRAPA (2006).....	37
Figura 10 – Rede Hidrográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria-RS. Fonte SM-SIG1.....	39
Figura 11 - Ilustra a relação entre a superfície topográfica e a superfície freática. Fonte: Hearth, 1983.....	46
Figura 12 - Ilustra a sistemática para obtenção da vulnerabilidade do aquífero Fonte: Foster <i>et al.</i> (2006).....	49
Figura 13 - Exemplo da aplicação do método <i>GOD</i> no poço SIAGAS N° 4300000253, em detalhe os grão arredondados do arenito médio que compõe a Formação Botucatu.....	50
Figura 14 - Poço SIAGAS N° 4300002746, na Formação Rosário do Sul, em detalhe, arenitos argilosos.....	51
Figura 15 Mapa dos Domínios Hidrogeológicos CPRM (2007) a partir da geologia da CPRM (1986), Silveira <i>et al.</i> (2003) e Pavão (2004).	54
Figura 16 - Distribuição espacial dos poços existentes nas SHR's 01, 02 e 11.....	59
Figura 17 – Lago Batuva em Santana do Livramento/RS Fonte: Google Earth 2009.....	61
Figura 18 – Localização das descontinuidades hidráulicas nos Aquíferos Serra Geral e Guarani no Estado do Rio Grande do Sul. Adaptado de Machado, 2005.....	62
Figura 19 - Vazios de informação de poços, destacam-se as Sub-Províncias Hidrogeológicas pertencentes às SHR's 03 e 04.....	68
Figura 20 - (a) Mapa da cota potenciométrica e vetores de fluxo subterrâneos; (b) superfície em terceira dimensão para os 322 poços simulados na BHRSM.....	70
Figura 21 – Mapa da zona vadosa da BHRSM.....	74
Figura 22 - Mapa da cota potenciométrica na SHR 11, a partir de 117 informações de nível da água de poços e/ou nascentes. Fonte: SIAGAS/CPRM e DRH/SEMA, em agosto de 2009...	76
Figura 23 - Mapa da espacialização da concentração dos STD em Agosto/2009 (254 poços e/ou nascentes) na BHRSM.....	80
Figura 24 - Distribuição dos poços com concentrações de NO ₃ ⁻ avaliados a partir dos processos de outorga do DRH/SEMA.....	84
Figura 25 - Ilustra o mapa de vulnerabilidade á contaminação <i>GOD</i> para a maior parte da BHRSM. OBS.: Os valores das classes estão na metodologia.....	86

Figura 26 - Mapa da Vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos (GOD, FOSTER <i>et al.</i> 2003) por Domínios Hidrogeológicos da BHRSM.	92
Figura 27 – Valoração das águas subterrâneas a partir da sobreposição de critério qualitativo e do índice de vulnerabilidade.	97

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Informações referentes às 21 SHR's instaladas na BHRSM. Fonte: UFSM/SEMA (2004).....	25
Quadro 2 - Unidades Litoestratigráficas aflorantes na bacia hidrográfica do rio Santa Maria. Fonte: CPRM (1986), Silveira et al.(2003), Pavão (2004).....	26
Quadro 3- Classes e Siglas dos Solos da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria Fonte: SM-SIG1 atualizado para o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos EMBRAPA, (2006)	36
Quadro 4- Classes e áreas e percentuais dos Solos na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria Fonte: SM-SIG1 atualizado para o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos EMBRAPA, (2006).....	38
Quadro 5- Níveis e escalas de abrangência para gestão dos recursos hídricos subterrâneos.....	41
Quadro 6 - Intervalos de vulnerabilidade da metodologia <i>GOD</i>	50
Quadro 7 - Hidrogeologia dos 117 poços inseridos na SHR 11.....	58
Quadro 8 - Características dos aquíferos componentes do SAG existentes na BHRSM. Adaptado de Machado (2005).....	63
Quadro 9- Número de poços por uso preponderante das águas subterrâneas na BHRSM cadastrados até julho de 2009.....	64
Quadro 10 - Distribuição das concentrações do STD por SHR's na BHRSM.....	81
Quadro 11 - Usos Preponderantes x N° de poços x SHR's.....	82
Quadro 12 - Classes de vulnerabilidade <i>GOD</i> por SHR para BHRSM.....	87
Quadro 13 - Vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos no Domínio 1 Formações Cenozóicas (Aquíferos Porosos Cenozóicos Aluvionares).....	93
Quadro 14 - Vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos no Domínio 2 – Bacia Sedimentar (do Paraná).....	93
Quadro 15 - Vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos no Domínio 5 – Vulcânicas.....	94
Quadro 16 - Vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos no Domínio 6 – Cristalino, com granitóides.....	94

LISTA DE REDUÇÕES

ABAS.....	Associação Brasileira de Águas Subterrâneas.
ABNT.....	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ANA.....	Agência Nacional de Águas.
ASUB.....	Integração dos instrumentos de outorga, enquadramento e cobrança para gestão das águas subterrâneas.
BHRSM.....	Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria.
CD.....	Compact Disc.
CE.....	Capacidade Específica.
C.E.....	Condutividade Elétrica.
CETESB.....	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.
CNRH.....	Conselho Nacional de Recursos Hídricos.
CONAMA.....	Conselho Nacional do Meio Ambiente.
CORSAN.....	Companhia Riograndense de Saneamento.
CPRM.....	Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais.
CT.....	Centro de Tecnologia.
CTAS.....	Câmara Técnica Permanente das Águas Subterrâneas.
CTCOB.....	Câmara Técnica Permanente Cobrança pelos Recursos Hídricos.
CTGRHT.....	Câmara Técnica Permanente de Gestão de Recursos Hídricos Transfronteiriços.
DAE.....	Departamento de Água e Esgotos.
DAEE.....	Departamento de Águas e Energia Elétrica.
DNPM.....	Departamento Nacional de Produção Mineral.
DOU.....	Diário Oficial da União.
DRH.....	Departamento de Recursos Hídricos.
DSG.....	Diretoria de Serviços Geográficos.
DSR.....	Divisão de Sensoriamento Remoto.
EMBRAPA.....	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
EPA.....	Environmental Protection Agency.
EUA.....	Estados Unidos da América.
FINEP.....	Financiadora de Estudos e Projetos.
F.SH.....	Nomenclatura da folha.
GAS.....	Guarani Aquifer System.
GEOBANK.....	Banco de Dados Geológicos da Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais.
GERHI.....	Gestão de Recursos Hídricos.
GIS.....	Geographic Information System.
GO.....	Goiás.
GR.....	Greenwich.
IBGE.....	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
IG.....	Instituto Geológico.
IPT.....	Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

INCRA.....	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária.
INPE.....	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
LABHIDROGEO.....	Laboratório de Hidrogeologia.
MS.....	Mato Grosso do Sul.
MI.....	Mapa Índice.
MMA.....	Ministério do Meio Ambiente.
MT.....	Mato Grosso.
NASA.....	National Aeronautics and Space Administration.
PSAG.....	Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani.
PPGEC.....	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
RS.....	Rio Grande do Sul.
RADAMBRASIL.....	Projeto Radambrasil (Radar na Amazônia).
SAD.....	South American Datum.
SAG.....	Sistema Aquífero Guarani.
SC.....	Santa Catarina.
SEMA.....	Secretaria Estadual de Meio Ambiente.
SHR.....	Seção Hidrológica de Referência
SIAGAS.....	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SIG.....	Sistema de Informações Geográficas.
SP.....	São Paulo.
S.P.....	Superfície Potenciométrica.
STD.....	Sólidos Totais Dissolvidos.
SRTM.....	Shuttle Radar Topography Mission.
TDS.....	Total Dissolved Solids.
TOPODATA.....	Banco de Dados Geomorfológicos do Brasil.
UFRGS.....	Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
UFSM.....	Universidade Federal de Santa Maria.
USGS.....	United States Geological Survey.
U.T.M.....	Projeção Universal Transversal de Mercator.
UY.....	Uruguai.
VEM.....	Vazão de Escoamento Natural.
VMP.....	Valor Máximo Permitido.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	x
LISTA DE QUADROS	xii
LISTA DE REDUÇÕES	xiii
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO	1
1.1 - OBJETIVOS	5
1.1.1 - Objetivo geral	5
1.1.2 - Objetivos específicos	5
CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLOGRÁFICA	6
2.1 - O CICLO HIDROLÓGICO E AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	6
2.2 - CONCEITUAÇÃO DE BACIA HIDROGRÁFICA E BACIA HIDROGEOLOGICA	6
2.3 - CONCEITOS RELATIVOS À AQUÍFEROS	8
2.4 - PROPRIEDADES HIDRÁULICAS DOS AQUÍFEROS	9
2.4.1 - Capacidade específica	9
2.4.2 - Aquíferos Porosos	9
2.5 - VULNERABILIDADE E A EVOLUÇÃO DE SEU CONCEITO	12
2.6 - ESTUDOS ANTERIORES DE VULNERABILIDADE REALIZADOS NA BHRSM	16
2.7 - ESTUDOS DE GESTÃO REALIZADOS COM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	16
2.8 - APARATO LEGAL SOBRE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO BRASIL	19
2.9 - CARTOGRAFIA E ESCALAS	22
CAPÍTULO III – CARACTERIZAÇÃO E METODOLOGIA	23
3.1 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	23
3.2 - GEOLOGIA	25
3.3 - HIDROGEOLOGIA	27
3.3.1 - Caracterização das Províncias e Sub-províncias hidrogeológicas	28
3.3.1.1 - Província Escudo	29
3.3.1.2 - Província Gondwânica	30
3.3.1.3 - Província Basáltica	33
3.3.2 - Sistemas Hidroestratigráficos	33
3.3.3 - Domínios Hidrogeológicos	34
3.4 - GEOMORFOLOGIA	35
3.5 - SOLOS	35
3.6 - CLIMA	38
3.7 - HIDROGRAFIA	38
3.8 - VEGETAÇÃO	40
3.9 - Materiais e métodos	40
3.10 - Dados	42
3.11 - Interpolação Espacial	44
3.11.1 - Análise da superfície potenciométrica na BHRSM	45
3.12 - AVALIAÇÃO DOS NITRATOS NA BHRSM	48
3.13 - A APLICAÇÃO DA METODOLOGIA GOD PARA ANÁLISE DA VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO À CONTAMINAÇÃO	48
CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO	53

5.1 - NÍVEIS E ESCALAS DE ABRANGÊNCIA PARA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS	53
5.1.1 - O nível ou escala de abrangência global (menor do que 1:250.000)	53
5.1.2 - O nível ou escala de abrangência regional (1:50.000 à 1:250.000)	58
5.1.2.1 - SHR's	58
5.1.3 - O nível ou escala de abrangência local (maior do que 1:50.000)	64
5.2 - COTA POTENCIOMÉTRICA X SEÇÕES HIDROLÓGICAS DE REFERÊNCIA (SHR'S)	66
5.2.1 - Zona vadosa	74
5.2.2 - SHR11	75
5.3 - ESTUDO HIDROGEOLOGICO E SIMULAÇÕES DOS STD NA BHRSM (NÍVEL OU ESCALA DE ABRANGÊNCIA REGIONAL).....	78
5.4 - AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DOS NITRATOS (NO ₃ ⁻) NA BHRSM POR SHR'S (NÍVEL OU ESCALA DE ABRANGÊNCIA REGIONAL)	82
5.5 - AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO DOS AQUÍFEROS.....	85
5.5.1 - Domínios Hidrogeológicos presentes na BHRSM.....	90
5.5.2 - Espacialização da vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos pelos Domínios Hidrogeológicos existentes na BHRSM.....	92
5.5.3 - Valoração das águas subterrâneas da BHRSM	96
CAPÍTULO VI – CONCLUSÕES	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102
ANEXOS	118

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

A água é um recurso de vital importância para toda camada viva de nosso Planeta, além de ser um fator físico determinante para a economia e para a sociedade. Sua quantidade e qualidade podem ser fatores condicionantes no progresso ou na estagnação de uma população. Estudar e mapear a vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas representa uma forma de contribuir para a espacialização e elucidação das áreas mais vulneráveis. Associando aos pontos potenciais de contaminação gerados pela sociedade, e/ou pelo tipo do ambiente natural em um determinado espaço e tempo, este tipo de ilustração dos processos sócio-naturais (mapas) que ocorrem nos recursos hídricos, serve de ferramenta no planejamento e na gestão desses recursos com importância única e mensurável em mais de uma escala e/ou nível de abrangência, podendo ser o global, o regional, e o local (COSTA, 2009).

Os recursos naturais, atualmente, vêm sendo alvo de intenso consumo, decorrente do processo de urbanização que ocorre nas últimas décadas. As cidades vem sofrendo um aumento populacional exagerado, gerando, conseqüentemente, uma busca de novas oportunidades de empregos.

Considerando a água subterrânea, a qual é considerada como um recurso natural renovável, estudos apontam que ela tem sofrido um aumento considerável, em sua utilização, uma vez que se pode observar a ampliação das perfurações de poços artesianos (ABAS, 2009). Observa-se que a água utilizada como um insumo nos processos de produção, como, por exemplo, na agricultura e na indústria, e no consumo humano, vem crescendo em termos de porcentagem anual *per capita*. Na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria (BHRSM) área objeto de estudo desta pesquisa, cita-se como exemplo de consumo da água subterrânea na agricultura (orizicultura) e na indústria (cerealista).

A utilização da água subterrânea na agricultura cresce de modo significativo em algumas regiões do país, como por exemplo, na fruticultura da uva no sul do país. O abastecimento complementar em áreas rurais, tanto para o consumo humano, quanto para a dessedentação animal, ainda é, em parte, executado através de nascentes e/ou poços escavados de grande diâmetro. Em diversas áreas rurais do Rio Grande do Sul, ainda é comum observar-se captações através de bombas manuais, “poços de manivela”, canalização por desnível e ainda por cataventos.

Deve-se salientar que há outras atividades que também se utilizam das águas subterrâneas, como as atividades de lazer. Estas são, principalmente, de origem termal, sendo encontradas em municípios do estado do Rio Grande do Sul, como: Três Arroios, Erechim, Nova Prata; municípios do estado de Santa Catarina, como: Itá, São João do Oeste, São Miguel do Oeste e Piratuba; e Salto no Uruguai, a partir das explorações do Sistema Aquífero Guarani (PSAG, 2007; Silvério da Silva *et al.*, 2008).

É necessário fazer referência que os clubes esportivos que contam com piscinas coletivas e exploram água subterrânea, podem mantê-la aquecida ou natural. Como, por exemplo, nos municípios de Santana do Livramento e Santa Maria, no Rio Grande do Sul, e Artigas, no Uruguai.

O uso dos recursos naturais, especialmente, através de atividades antropogênicas, tem como resultado resíduos, tanto sólidos quanto líquidos, os quais representam riscos potenciais de contaminação dos aquíferos. Algumas das atividades que representam um potencial poluidor da água subterrânea são: os sistemas de coleta e tratamento de esgotos; os lixões; os cemitérios; os postos de combustíveis (resolução do CONAMA Nº 273/2000); os lava à jato; as oficinas mecânicas; os resíduos industriais; os agroquímicos, e os fertilizantes nitrogenados utilizados na agricultura. Além destes, pode-se citar também os cemitérios, onde há infiltração do necrochorume. Segundo Smith *et al.* (1983 apud Migliorini, 1994), a decomposição dessas substâncias orgânicas pode produzir diaminas, como a cadaverina ($C_5H_{14}N_2$) e putrescina ($C_4H_{12}N_2$), que ao serem degradadas geram NH_4^+ . Isso pode constituir uma fonte pontencial de contaminação do(s) aquífero(s) localizado(s) em área(s) urbana(s) ou de expansão urbana.

A partir dessas questões que se colocam a respeito dos recursos hídricos, o grupo de hidrogeologia da UFSM vem pesquisando diversos aspectos quali-quantitativos dos recursos hídricos subterrâneos no estado do Rio Grande do Sul, bem como na fronteira sudoeste com o Uruguai. Essas pesquisas resultaram na execução de diversos trabalhos, dentre estes podemos citar: Pavão (2004), Frantz (2005), Camponogara (2006a, 2006b), Silvério da Silva *et al.* (2006 e 2007), além dos projetos/trabalhos que estão em andamento.

Este estudo pretende desenvolver subsídios técnicos de suporte para gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Para tanto, o objeto principal de estudo é a Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria (BHRSM), localizada na região sudoeste do Rio Grande do Sul (RS), junto à fronteira entre Brasil e a República do Uruguai, possuindo uma área de 15.797,30 km². A Figura 1, ilustra a localização da área em estudo em relação ao Brasil e ao estado do Rio Grande do Sul.

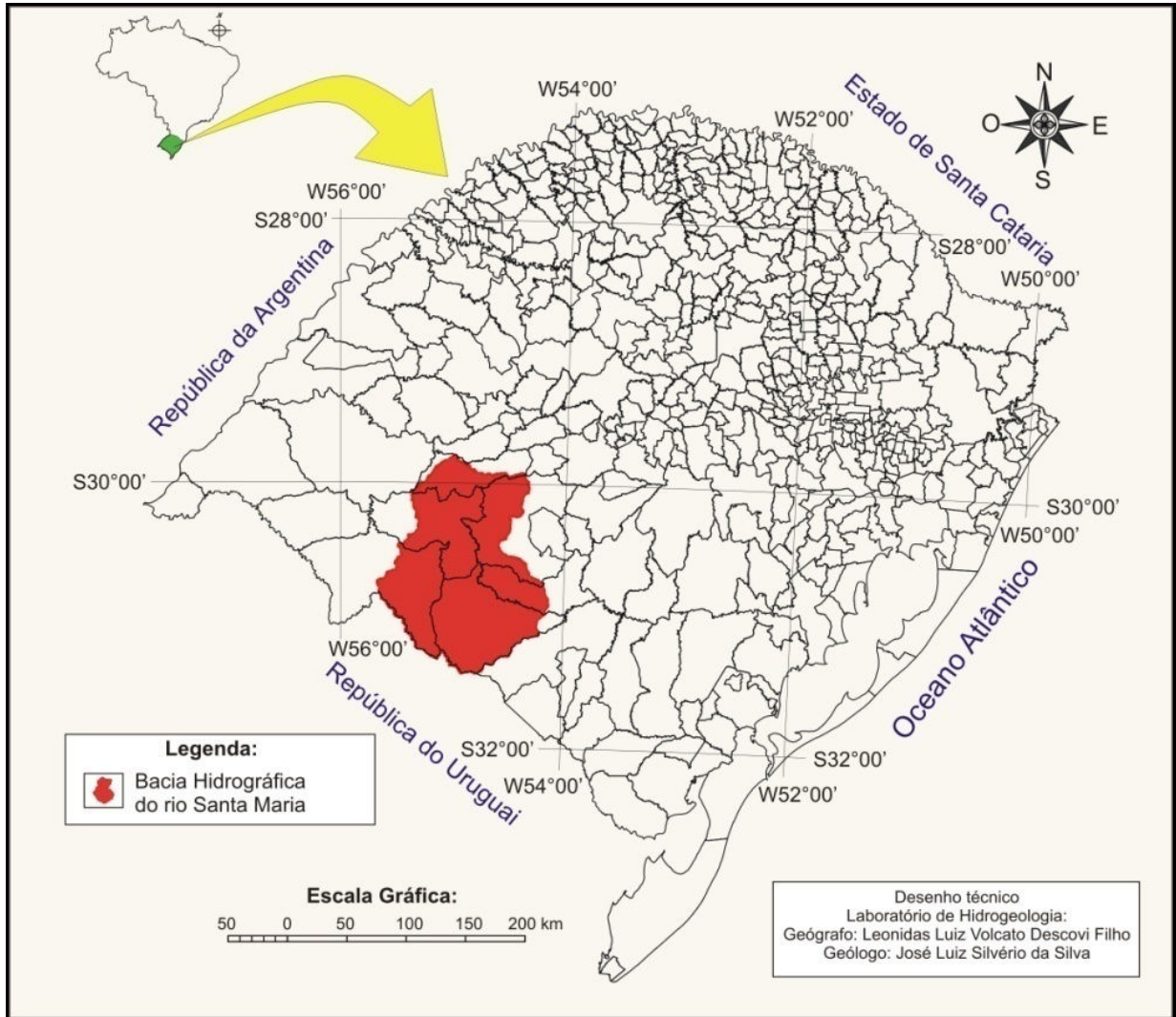


Figura 1 - Localização da BHRSM/RS.

A área em estudo está localizada sobre a região de transição entre o Escudo Cristalino (Escudo Cristalino Uruguaio-Sul-Riograndense), a leste, e a Depressão Central, em sua porção central, e ainda o Planalto da Serra Geral, no extremo oeste (Carraro *et al.*, 1974). As rochas dominantes são as sedimentares do tipo arenitos, pertencentes às formações Botucatu, Guará, Sanga do Cabral e Rosário do Sul. Nesses arenitos localiza-se um pacote hidrogeológico, conhecido internacionalmente como Sistema Aquífero Guarani (SAG), de dimensões continentais. Esse sistema aquífero ocupa parte de oito estados brasileiros (RS, SC, PR, SP, MS, MT e GO), bem como parte do Uruguai, da Argentina e do Paraguai (PSAG, 2009).

Na região da fronteira oeste, implantou-se o chamado Projeto Piloto Rivera – Santana (PRS), implantado pelo Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani (PSAG), juntamente com o contíguo Departamento de Rivera/Uruguai/UY. Esse projeto, de característica transfronteiriça, teve como principal

propósito apoiar as nações, que possuem o sistema aquífero, na elaboração de um marco comum institucional, legal e técnico que auxilie na sua gestão integrada.

Esse projeto foi decorrente do crescente alcance econômico da utilização da água subterrânea, principalmente, no município de Santana do Livramento, proporcionando, com isso, um detalhamento através de um grande número de trabalhos técnicos, dentre eles destacam-se: Hausman (1955, 1960 e 1966), Presotto (1973), Eckert & Caye (1995), Frantz (2005), Silvério da Silva *et al.* (2006), e Camponogara (2006a, 2006b).

Estudos hidrogeológicos e de vulnerabilidade natural vem sendo realizados em todo mundo, cita-se os Estados Unidos da América (EUA), com sua vulnerabilidade completamente mapeada através dos trabalhos realizados pela *Environmental Protection Agency* (EPA), em trabalho de Aller *et al.* (1997), bem como em Portugal por Lobo-Ferreira (1998). No Brasil, conta-se com excelentes trabalhos, como IG/CETESB/DAEE (1997) que mostra uma cartografia sobre a vulnerabilidade de todo o estado de São Paulo. Estudos hidrogeológicos foram anteriormente realizados na porção sudoeste do estado do RS, onde se inclui a BHRSM, como, por exemplo, através dos trabalhos de Presotto *et al.* (1973), CPRM (1986) projeto borda leste, Machado (2005), o Mapa Hidrogeológico do Estado (Machado e Freitas, 2005), PSAG (2007), os quais consideram essa porção do sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul uma área de recarga direta do Sistema Aquífero Guarani/Serra Geral (SAG/Serra Geral). Esses fatos justificam o interesse em se intensificar os estudos hidrogeológicos, em especial, no que se refere à vulnerabilidade natural, tendo em vista a lacuna deixada sobre esta temática em nosso estado (Machado e Freitas, 2005).

1.1 - OBJETIVOS

1.1.1 - Objetivo geral

Subsidiar a gestão dos recursos hídricos subterrâneos na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria (BHRSM) através do levantamento e estudo da hidrogeologia com aplicação de técnicas de geoprocessamento em seus meios aquíferos.

1.1.2 - Objetivos específicos

- Elaborar um banco de dados hidrogeológicos referente às captações águas subterrâneas e aos aquíferos presentes na BHRSM;
- Propor e avaliar a implementação das escalas global, regional e local para gestão dos recursos hídricos subterrâneos;
- Elaborar um Sistema de Informações Geográficas para apoiar a gestão dos recursos hídricos subterrâneos da BHRSM;
- Fornecer diretrizes para gestão dos recursos hídricos subterrâneos a partir dos níveis de abrangência global, regional e local.

CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - O CICLO HIDROLÓGICO E AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Em se tratando de gestão de recursos hídricos subterrâneos, entender e elucidar-se as fases superficiais e subterrâneas do ciclo hidrológico constitui-se uma questão de fundamental importância.

Dentro da moderna abordagem do gerenciamento integrado de recursos hídricos, as águas subterrâneas representam a parcela do ciclo hidrológico que transita pelo subsolo de um sistema hidrográfico. Neste particular, merece salientar que, enquanto os rios tem uma função mais propriamente de coleta e transporte da água que chega na calha ou leito, a velocidades da ordem de quilômetros por dia, o subsolo tem uma função de estocagem das infiltrações que ocorrem nos terrenos da unidade hidrográfica, em função das baixas velocidades de percolação, da ordem de centímetros por dia. Em consequência, as águas subterrâneas constituem o elemento primordial de regularização do fluxo dos rios, durante os períodos de estiagem (REBOUÇAS, 1992, p.77).

2.2 - CONCEITUAÇÃO DE BACIA HIDROGRÁFICA E BACIA HIDROGEOLÓGICA

Conforme se encontra exposto em Tucci (2002), bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. A bacia hidrográfica compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único no exutório.

De acordo com Guerra (1997), dicionário geológico-geomorfológico bacia hidrográfica é: “o conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes”. Nas depressões longitudinais, verifica-se a concentração das águas das chuvas, isto é, do lençol de escoamento superficial, resultando no lençol concentrado – os rios. A noção de bacia hidrográfica obriga naturalmente a existência de cabeceiras ou nascentes, divisores d’água, cursos d’água principais, afluentes, subafluentes, etc.

Segundo os autores Botelho *et al.* (1999), entende-se como bacia hidrográfica ou bacia de drenagem a área da superfície terrestre drenada por um rio principal e seus tributários, sendo limitada pelos divisores de água. A bacia hidrográfica é uma célula natural que pode, a partir da definição do seu *outlet*, ou ponto de saída, ser delimitada sobre uma base cartográfica

que contenha cotas altimétricas, como as cartas topográficas, ou que permita a visão tridimensional do terreno, como fotografias aéreas.

Para o mesmo autor, a bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, considerando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados e transpirados e também infiltrados profundamente.

Conforme Guerra & Cunha (1998), as bacias hidrográficas contíguas, de qualquer hierarquia, estão interligadas pelos divisores topográficos, formando uma rede onde cada uma delas drena água, material sólido, o qual é dissolvido para uma saída comum ou ponto terminal, que pode ser outro rio de hierarquia igual ou superior, como: lago, reservatório, ou oceano.

Brasil (1997), através da Lei Federal nº 9.433/1997 (conhecida como Lei das Águas), considera em seu Art. 1º, parágrafo quinto: “V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;”

Conforme a literatura e o cotidiano, percebe-se a existência de mais de uma unidade ideal para gestão dos recursos hídricos subterrâneos, por exemplo, as bacias hidrográfica e as bacias hidrogeológicas. Entender e distinguir os conceitos de ambas se faz *mister* para distinção e conhecimento e auxílio na tomada de decisão quanto à gestão dos recursos hídricos. Garcez (1993) conceitua e destaca a existência destes dois tipos de bacias de drenagem:

- Bacia Hidrográfica, conjunto de áreas superficiais para determinada secção do curso d'água;
- Bacia Hidrogeológica, que são conjuntos de áreas superficiais e subterrâneas, cujo escoamento alimenta um deflúvio em determinada secção transversal.

A bacia hidrogeológica comporta, em sua estrutura física interna, as Unidades Litoestratigráficas, as Unidades Hidroestratigráficas, e os aquíferos e/ou sistemas aquíferos. Estes arcabouços geológicos e hidrogeológicos apresentam-se como importantes para o entendimento em macro escala da dinâmica ocorrente em subsuperfície e, por conseguinte, do objetivo principal desse trabalho.

Tendo em vista que os aquíferos ou sistemas aquíferos extrapolam, muitas vezes, o limite do divisor topográfico de águas, a bacia hidrográfica, enquanto escala de estudo, deve ter suas dimensões e conceituações atuais avaliadas e compreendidas.

2.3 - CONCEITOS RELATIVOS À AQUÍFEROS

Para entender a conceituação de aquífero, faz-se necessário o entendimento de alguns conceitos básicos em geologia e hidrogeologia.

Um dos principais conceitos geológicos presente nesse trabalho é o de formação geológica. A Escola de Geologia da UFRGS traduziu o trabalho da comissão americana de nomenclatura estratigráfica, que, em seu Art. 06, conceituou como formação a unidade fundamental na classificação litoestratigráfica. Esta corresponde a um corpo de rocha caracterizado por uma homogeneidade litológica que predomina, mas não necessariamente tabular, podendo ser mapeável à superfície terrestre ou delimitável na superfície.

A CPRM (2007) define domínio hidrogeológico como um conjunto representativo de unidades geológicas com afinidades hidrogeológicas, tendo como base principal as características litológicas das rochas.

Uma etapa fundamental em qualquer investigação de águas subterrâneas é a definição e mapeamento das unidades aquíferas e confinantes (unidades hidroestratigráficas) na subsuperfície da área a ser estudada. Com o delineamento dessas unidades, fragmenta-se o arcabouço geológico em função da sua permeabilidade, procurando-se definir o sistema de fluxo. Unidades hidroestratigráficas foram originalmente propostas por Maxey (1964, p.24), sendo definidas como “corpos de rocha com extensão lateral considerável compondo um arcabouço geológico que funciona razoavelmente como um sistema hidrológico distinto”. Ele também mostra a necessidade de definir unidades de água subterrânea, baseando-se não somente em características litológicas específicas, mas incluindo parâmetros que correspondem, especialmente, ao movimento, ocorrência e armazenamento.

O sistema aquífero foi originalmente definido por Poland *et al.* como:

um corpo heterogêneo de materiais com intercalações permeáveis e pobremente permeáveis que funcionam como unidade hidroestratigráfica produtora de água; ele compreende duas ou mais camadas permeáveis, separadas ao menos localmente por aquitardos que impedem o movimento das águas subterrâneas, mas que não afetam a continuidade hidráulica do sistema. (1972, p.34)

A unidade confinante foi definida como equivalente aos termos aquitardo aqui clude e tem sido usado nos relatórios do U.S. Geological Survey desde 1972. Laney e Davidson (1986) sugerem que a definição de sistemas aquíferos poderia ser mais geral se o termo

“aquífero” fosse substituído pelo termo “camadas permeáveis”. Para Jorgensen *et al.* (1993, p.63), um sistema aquífero pode ser descrito como constituído de “dois ou mais aquíferos no mesmo sistema hidráulico, os quais estão separados na maioria dos locais por uma ou mais unidades confinantes”. Do mesmo modo, eles definem um sistema confinante como “duas ou mais unidades de confinamento, separadas na maioria dos locais por um ou mais aquíferos que não estão no mesmo sistema hidráulico” (Ibid., p.65)

2.4 - PROPRIEDADES HIDRÁULICAS DOS AQUÍFEROS

Quanto às propriedades hidráulicas, as águas subterrâneas podem ser consideradas aquíferos, aquíferos ou aquíferos. De acordo com Todd (1959) e Maciel Filho (2008), aquíferos são rochas ou solos saturados de água e permeáveis, isto é, que permitem o fluxo de água. Têm uma estrutura com capacidade suficiente para armazenar e liberar água subterrânea para exploração em poços. Aquíferos são rochas ou solos impermeáveis que podem ou não conter água. E os aquíferos são estratos semipermeáveis.

2.4.1 - Capacidade específica

A Capacidade Específica (CE) representa a relação entre a vazão, em m^3/h , de um poço e o seu rebaixamento (nível d'água em metros). Este conceito é a melhor forma de se comparar a produtividade de aquíferos distintos. Um bom aquífero apresenta CE média de $3m^3/h/m$, como é o caso do Aquífero Guarani, segundo o Dicionário Livre de Geociência (2009). Aquíferos mais pobres, na BHRSM, apresentam capacidade específica média de $0,5m^3/h/m$, ou menos Machado e Freitas, (2005).

2.4.2 - Aquíferos Porosos

Segundo Oliveira e Brito (1998), porosidade é o termo utilizado para designar os espaços vazios ou poros existentes no interior dos diferentes tipos de materiais. Conforme esses autores pode-se distinguir, na natureza, dois grandes grupos de aquíferos de acordo com a porosidade: os porosos propriamente ditos, e os fraturados. Os mesmos irão constituir dois tipos diferentes de aquíferos, de acordo com essas propriedades.

De acordo com Silvério da Silva *et al.* (2004), o aquífero Poroso-Granular é composto de rochas sedimentares clásticas ou terrígenas (arenito, siltito, argilito); como exemplo tem-se a Formação Botucatu (Fm. Botucatu), que é composta por arenitos finos a médios, bem selecionados, com mais de 98% de areias (paleoambiente eólico), apresenta estratificação cruzada de alto ângulo, o que permite diferentes permeabilidades em diferentes direções, tanto na vertical quanto na horizontal. Já a Fm. Rosário do Sul (Paleoambiente flúvio-eólico) é constituída por arenitos com um grau variável de argilosidade, o que lhe confere características de aquífero, mas localmente pode apresentar aquíferos contínuos, vazões dos poços tubulares variável, e apresenta águas tanto doces quanto salobras. Outro sedimento que resulta em aquíferos porosos são os aluviões Cenozóicos, constituídos por paleoambiente fluvial. No Rio Grande do Sul, são exemplos o Rio Santa Maria, as dunas quaternárias (na região Litorânea e nas arenizações, como nos Municípios de Alegrete e Quaraí), formados por sedimentos inconsolidados com espessuras variáveis com no máximo 50 metros, ocupando planícies aluviais atuais e/ou antigas.

Devido ao seu conteúdo variável em areia, silte e/ou argila, também apresentam variáveis valores de porosidade, permeabilidade e de vulnerabilidade. A Figura 2 ilustra um exemplo de Aquífero Poroso-Granular, no caso , constituído pela Fm. Botucatu (paleoambiente eólico).



Figura 2 - Aquífero Poroso-Granular. Fonte: Acervo LABHIDROGEO.

Ainda Silvério da Silva *et al.* (op. cit.) conceitua aquíferos cristalinos fissurais como os compostos de rochas cristalinas ígneas, metamórficas ou sedimentares silicificadas, ocorrendo, por exemplo, no Escudo Uruguaio Sul-Riograndense, constituído por granitos e/ou rochas metamórficas (xistos e gnaisses). E também no Planalto da Serra Geral, composto por sequência de derrames vulcânicos (de composição ácida e/ou básica). A presença de arenitos intertrápicos representa descontinuidade nos aquíferos, como ocorre no Município de Santana do Livramento, RS. Este tipo de aquífero também pode constituir-se por sils ou diques vulcânicos (como ocorrem em Restinga Seca, Mata, Vila Block e Venâncio Aires) presentes na borda da Bacia do Paraná. A Figura 3 ilustra um exemplo de Aquífero Cristalino Fissural, no caso, representado pela Formação Serra Geral, presente na parte oeste da bacia hidrográfica em estudo.

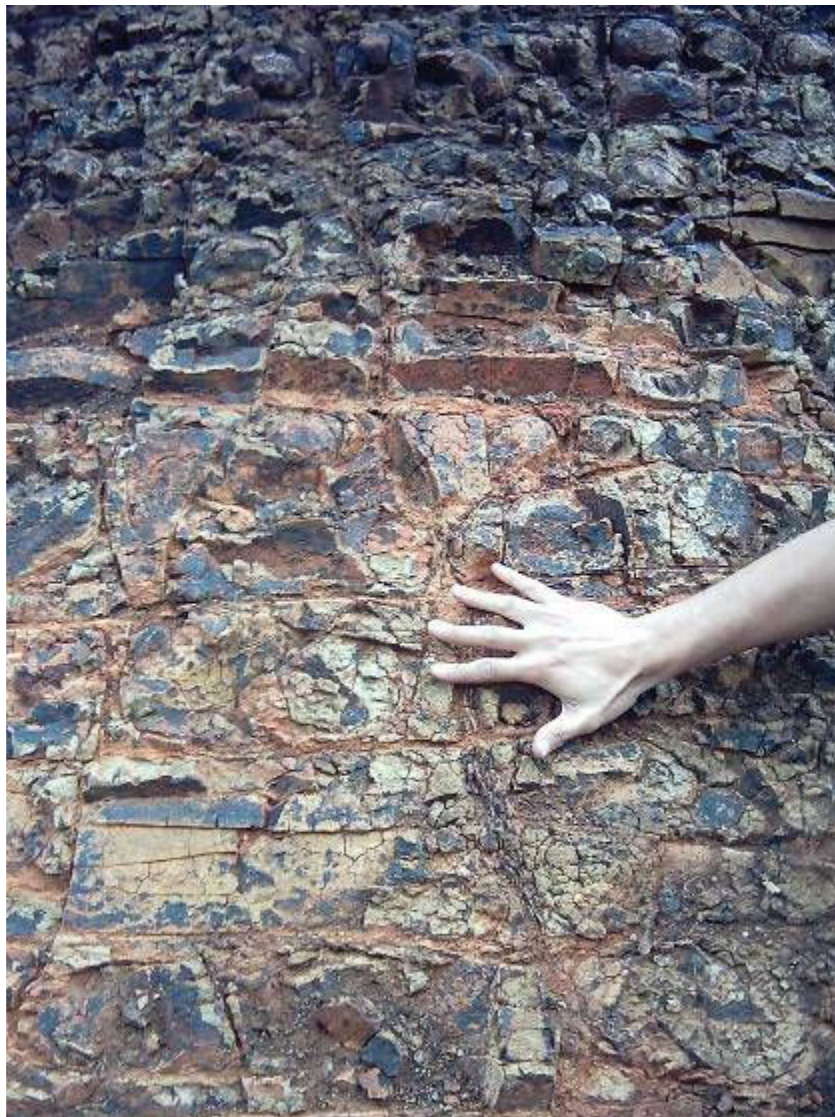


Figura 3 - Aquífero Fissural constituído pela Formação Serra Geral. Fonte: Acervo LABHIDROGEO.

De acordo com Maciel Filho (2008), os aquíferos ainda podem ser denominados de livres ou confinados. Nos livres, ou não confinados, o nível da água subterrânea serve de limite superior da zona de saturação, ou seja, é limitado pelo nível freático. Já nos aquíferos confinados, também denominados de artesianos ou sob pressão, são aqueles em que o nível superior da água está confinado por camadas superiores menos permeáveis, e, portanto, está sob pressão maior que a atmosférica, podendo dessa forma ser inclusive jorrante.

Os aquíferos livres geralmente são mais vulneráveis à contaminação do que os confinados, por estarem mais expostos às atividades sobrejacentes a eles.

2.5 - VULNERABILIDADE E A EVOLUÇÃO DE SEU CONCEITO

Em hidrogeologia o conceito de vulnerabilidade das águas subterrâneas começou a ser usado primeiramente por Le Grand (1964), nos EUA, e Albinet & Margat (1970), na França. Na década de 1980, foi amplamente utilizado por vários autores (Aller *et al.*, 1985; Bachmat & Collin, 1987, Foster, 1987, Foster & Hirata, 1988), e, nos anos 90, por autores como Civita (1990). Embora se referisse à suscetibilidade relativa dos aquíferos à contaminação antropogênica, o termo vulnerabilidade inicialmente era usado sem nenhum objetivo de definição formal.

Existem vários métodos para a avaliação e a espacialização da vulnerabilidade de aquíferos, entre eles a metodologia *GOD*, desenvolvida por Foster (1987) e a metodologia *DRASTIC* de Aller *et al.* (1987).

O termo vulnerabilidade referindo-se à contaminação da água subterrânea, foi introduzido pelo Hidrogeólogo Frances J. Margat, no final da década de 60 (Margat, 1968), baseado no feito real de que, de certo modo, o meio físico protege o aquífero de contaminantes que podem infiltrar da superfície.

Assim, o objetivo principal de um mapa de vulnerabilidade, é a subdivisão de uma área em diferentes unidades homogêneas, às vezes, chamadas de células ou polígonos, que tem diferentes níveis de vulnerabilidade. Contudo, esta diferenciação entre as células só demonstra a vulnerabilidade relativa de uma área a respeito de outra, não representam valores absolutos. Antes de tentar construir um mapa de vulnerabilidade, deve ser cuidadosamente definido e analisado o termo vulnerabilidade da água subterrânea. Nesse trabalho, considera-

se vulnerabilidade a propriedade intrínseca de um sistema aquífero que depende de sua sensibilidade a impactos naturais e/ou antropogênicos (Vrba e Zaporozec, 1994).

No entanto, deve ser enfatizado que existe mais de um tipo de vulnerabilidade das águas subterrâneas. O conceito anterior refere-se à vulnerabilidade intrínseca ou natural, que é uma função das características hidrogeológicas do aquífero, do solo e dos materiais geológicos que o recobrem. Além dessas propriedades intrínsecas, podem ser considerados os potenciais efeitos de certos poluentes, em detrimento (no espaço e no tempo) do consumo presente e futuro das águas subterrâneas.

Em vista disso, é cientificamente mais coerente avaliar a vulnerabilidade de cada tipo de poluente (nutrientes, patógenos, metais pesados, etc.), ou cada grupo de atividades poluidoras (agrícola, industrial, etc.), mas, em geral, não existem informações suficientes para atingir este ideal. Por outro lado, isso exigiria a consulta de um atlas de vulnerabilidade para cada zona, o que não pode ter muita utilidade prática. É por isso que no mundo tem tido grande desenvolvimento de sistemas de classificação de vulnerabilidade dos aquíferos, avaliando a vulnerabilidade intrínseca natural ou integrada.

Diferentes técnicas têm sido desenvolvidas para avaliar a vulnerabilidade natural dos aquíferos. Os mais conhecidos são: *DRASTIC* (Aller *et al.* 1987), *GOD* (Foster & Hirata 1988), *SINTACS* (Civita, 1990), *AVI* (Van Stempvoort, 1994).

DRASTIC, *SINTACS* e *GOD* avaliam a vulnerabilidade do aquífero, dividindo-o em células ou polígonos, calculando um índice de vulnerabilidade de um sistema de classificação ponderada. Ou seja, esses métodos definem intervalos para cada um dos parâmetros utilizados e também atribuem um peso de acordo com a importância relativa a esse parâmetro. A soma ponderada desses intervalos permite um índice refletir a vulnerabilidade de cada célula ou polígono do aquífero. Quanto maior o valor deste índice, maior a sensibilidade do aquífero à contaminação.

O método *AVI* calcula a resistência vertical hidráulica total das camadas sobre o aquífero, dividindo a espessura de cada camada entre a condutividade hidráulica vertical. A soma destes quocientes é exatamente o índice *AVI*, que expressa a resistência hidráulica oferecida pelo ambiente que protege o aquífero, e que é inversamente proporcional à vulnerabilidade do mesmo.

Em geral pode-se destacar que:

- Na metodologia *DRASTIC* é criticada a quantidade de variáveis utilizadas, a dependência de algumas delas e as ponderações que ela executa podem ser questionáveis.

- O Método *SINTACS* foi derivado do *DRASTIC*, e, portanto, se fazem mesmas críticas.
- *GOD* é muito simples, usa três parâmetros e é fácil de aplicar, muito usual em condições de pouca informação. Representa uma potente ferramenta para simulação em macro escala, onde um número maior de variáveis tornaria a aplicação inviável devido à questão do tempo.
- *AVI* tem uma abordagem simples, mas exige saber a espessura e a condutividade hidráulica vertical das camadas sobre o aquífero.
- Os Sistemas de Informação Geográfica constituem ferramentas muito úteis e eficazes para a aplicação para a aplicação destas metodologias, e existem poucos trabalhos na literatura internacional que tratam desta temática (Taco y Galarrazaga, 2002).
- Ray e Odell (1993) propuseram uma nova metodologia, denominada *DIVERSITY*. É um método melhorado, para a delimitação e classificação da sensibilidade das águas subterrâneas a contaminação. É baseado em três características: recarga potencial, velocidade de fluxo, e sentidos de fluxo. O principal objetivo deste método é produzir mapas de sensibilidade em escala municipal ou estadual que ilustram potencial intrínseco de contaminação do aquífero superior. Esses mapas podem ser usados para o reconhecimento do aquífero e da sensibilidade para a proteção da qualidade das águas subterrâneas.
- Foster *et al.* (2006) comenta que avaliar os perigos de contaminação do aquífero é necessário para definir, de forma clara, ações requeridas para proteção à qualidade da água subterrânea.
- Foster *et al.* (2006) expõe como processos comuns de poluição da água subterrânea, aterro ou lixões de resíduos sólidos, rio influente poluído, drenagem e área industrial, vazamento em tanques de armazenagem, saneamento *in-situ* (fossas sépticas), drenagem em área rural, vazamento de rede de esgoto, lagoas de águas residuais e intensificação agrícola.
- A forma com que os aquíferos se tornam contaminados ocorre pela entrada das águas meteóricas através da infiltração direta ou indireta, na superfície do solo ou rocha. As atividades que ocorrem na superfície podem ameaçar a qualidade da água subterrânea. O solo e as formações rochosas existentes na região vadosa (zona não saturada) possuem uma determinada capacidade de atenuação natural, as reações químicas e a degradação bioquímica contribuem para a eliminação dos contaminantes. Os aquíferos não-confinados são alvo de grande preocupação em relação a sua contaminação,

principalmente, onde o nível da água é muito superficial (zona vadosa pouco espessa), apresentando-se muito expostos às atividades antrópicas existentes em superfície, e à alta vulnerabilidade natural a contaminação das águas subterrâneas.

Desta forma conclui-se que os mapas de espacialização da vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos indicam o potencial natural dos materiais geológicos associados à zona vadosa (= edáfica, = aerada) e à biota para agirem como “biodigestores” dos resíduos líquidos (chorumes, necrochorumes), esgotos “in natura”, e causarem alteração na qualidade da água subterrânea tanto em áreas urbanas quanto rurais.

Outros autores, como Dalmolin *et al.* (2006), também mostram-se preocupados com as modificações sofridas pelos solos em áreas urbanas, e destacam:

O uso incorreto dos solos urbanos é consequência da falta de conhecimento do seu comportamento. Profissionais que não atuam na área da pedologia costumam ignorar a ciência do solo, enquanto a grande maioria dos pedólogos está voltada para estudos dos solos em áreas agrícolas e florestais. Tal fato mostra a falta de sintonia entre estes diferentes profissionais, dificultando uma abordagem multidisciplinar deste tema importante no sucesso dos empreendimentos urbanos. É necessário, portanto, maiores estudos sobre o uso dos solos e seu comportamento em áreas urbanas, para que estas informações estejam disponíveis e venham a contribuir para um melhor gerenciamento e planejamento dos espaços urbanos (DALMOLIN *et al.*, 2006, p.22 e 23).

Estes autores já alertaram que estudos multidisciplinares são fundamentais em ciências ambientais, bem como a questão dos solos urbanos, que na maioria das vezes carece de informações. Os solos são determinantes para a qualidade e proteção das águas subterrâneas, uma vez que eles estão sobre a superfície, capeando e protegendo os aquíferos. No método *GOD* (FOSTER *et al.*, 2003), não se avalia separadamente os solos, portanto eles foram considerados associados junto com a variável (O), ocorrência litológica, um dos três parâmetros na avaliação do índice de vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos.

2.6 - ESTUDOS ANTERIORES DE VULNERABILIDADE REALIZADOS NA BHRSM

Pavão (2005), estudando o índice de vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos na BHRSM, utilizou cerca de 528 poços do SIAGAS/CPRM cadastrados até o ano de 2005, constatando que cerca de 46,96% da área total da bacia pertence ao Sistema Aquífero Guarani.

Com o objetivo de avaliar a aplicabilidade da cobrança pelo uso da água, Forgiarini (2006) desenvolveu e simulou um modelo de cobrança pelo uso da água na BHRSM. Para formulação do cálculo da cobrança, foi considerado, entre outros coeficientes, a vulnerabilidade dos aquíferos, objetivando diferenciar as classes de vulnerabilidade natural dos aquíferos para induzir a captação em poços nas áreas menos sujeitas à contaminação. Nesse estudo foi aplicado o método *GOD* (FOSTER *et al.*, 2003) para a BHRSM.

Outros estudos de vulnerabilidade ocorreram em setores da BHRSM. Como exemplo, cita-se os trabalhos desenvolvidos por Frantz (2005), que aplicou o método *GOD* para o perímetro urbano do Município de Santana do Livramento, e por Camponogara (2006), utilizando a metodologia *DRASTIC* para avaliação de vulnerabilidade do SAG na região de Santana do Livramento.

2.7 - ESTUDOS DE GESTÃO REALIZADOS COM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Freire (2002) em sua tese de doutoramento realizou o desenvolvimento de metodologias para gestão de águas subterrâneas, a partir de sugestões de critérios de outorga e cobrança, no intuito de preencher uma lacuna metodológica existente nas práticas brasileiras de gestão de recursos hídricos subterrâneos.

Oliveira *et al.* (2007) descrevem o panorama da gestão integrada da água subterrânea/água superficial no Brasil, especialmente quanto ao instrumento outorga do direito de uso de recursos hídricos. Inicialmente, fazem uma contextualização do arcabouço legal existente que demanda a gestão sistêmica desses recursos. Em seguida, avaliam o estágio atual de sua implementação em cinco estados, considerando São Paulo, Piauí, Rio Grande do Norte, Ceará e ainda descrevem aspectos da Bahia. Este trabalho foi executado por técnicos da Agência Nacional de Águas/ANA, a partir de visitas aos órgãos gestores das

águas subterrâneas nos Estados. Caracterizam o cenário hidrogeológico onde é necessária essa abordagem integrada, qual seja: aquífero livre hidraulicamente interconectado com corpos hídricos superficiais perenes. Ainda apresentam aspectos relativos a importância da gestão integrada água superficial/subterrânea em especial as Resoluções do Conselho Nacional de Recursos Hídricos/CNRH nº 15/2001, nº 16/2001 e nº 22/2002. Também discutem a evolução dos conceitos associados a exploração de água subterrâneas (mineração, vazão de segurança e vazão sustentável).

De acordo com Heine (2008) para efeito de planejamento, existem índices de referência para o potencial explorável de uma aquífero que correspondem a uma parcela da reserva ativa. Para Rocha (1997), são da ordem de 25%; enquanto que para Rebouças (1992) citado por (ANA, 2001), correspondem a índices mais flexíveis, ficando entre 25 a 50%. Para Kalf e Woolley (2005), essa taxa é de 30% da média da recarga de observações de longo tempo.

Segundo Ribeiro (2000), Ribeiro & Lanna (2001) apud Costa (2009), a política ambiental de um país, inclusive a sua política de recursos hídricos, tem como base diversos tipos de instrumentos que servem para alcançar certos objetivos e metas previamente determinadas. Esses instrumentos podem ser classificados em dois grandes grupos instrumentos econômicos e os regulatórios.

Já a pesquisa de mestrado desenvolvida por Costa (2009) no âmbito do Projeto ASUB-PB a autora propôs como resultado de suas pesquisas que fossem escalonados níveis de abrangência para os critérios de outorga das águas subterrâneas na Região do Baixo Curso do Rio Paraíba, no Estado da Paraíba (PB), assim definidos: nível global, regional e local.

O nível global definiu-se como nível de abrangência que considera a bacia hidrográfica como um todo, dentro de uma visão sistêmica e integradora do ciclo hidrológico. Nesse nível, por exemplo, podem ser avaliadas a interconexão e a interdependência entre os fenômenos que atuam no ciclo hidrológico e os efeitos conjuntos da exploração da água subterrânea e da extração de água superficial sobre o escoamento do rio, englobando também os demais processos que operam no regime hidrológico na bacia.

Segundo Costa (2009), o nível regional é definido como nível de abrangência estabelecido a partir de zonas de recarga e descarga de água subterrânea, ou seja, de acordo com o comportamento físico dos processos, incluindo-se aqui aqueles instituídos a partir do conhecimento das especificidades comuns a uma determinada região da bacia. Nesse nível podem ser avaliadas a necessidade de proporcionar os usos múltiplos e prioritários, e as condições de suscetibilidade à poluição e à intrusão salina de um aquífero. Segundo a autora,

esse critério regional estabelecido em uma região específica de estudo pode ou não ser utilizado em outra.

Já no nível local, os critérios estabelecidos consideram as interferências da captação de água subterrânea em uma escala reduzida, ou seja, o objeto principal de análise é o poço e as consequências de sua perfuração em um determinado local da bacia. Conforme Costa (2009), geralmente, as práticas comuns de planejamento de uso dos recursos hídricos subterrâneos consideram apenas essa abordagem, ao levar em conta, exclusivamente, a análise do efeito do bombeamento de poços em áreas de sua proximidade. Podem ser avaliados aqui, desde a qualidade das águas e usos preponderantes, até a racionalização do uso da água, com incorporação de alternativas de gerenciamento da demanda nos sistemas de recursos hídricos dos usuários. Costa (2009) conclui citando que os critérios de outorga estabelecidos permitiram expressar os problemas de gerenciamento de recursos hídricos existentes na sua área de estudo.

No Estado do Rio Grande do Sul, o Departamento de Recursos Hídricos da Secretaria Estadual do Meio Ambiente vem realizando outorgas de águas subterrâneas considerando três classes de usuários. Os usuários na faixa menor que 25 m³/dia, os usuários que consomem entre 25 e 250 m³/dia e os usuários que consomem mais que 250 m³/dia. Existem duas modalidades incluindo-se a autorização prévia quando a captação por poços ainda não foi executada e a regularização e outorga no caso de captação já existente.

Com base no decreto 42.047/2002 há exigência de implantação de um tubo auxiliar (tubo guia) plástico em PVC, de diâmetro ½ ou ¾ de polegada até a profundidade onde se encontra instalada a bomba submersa. Também há exigência de instalação de um hidrômetro e ainda do cercamento do poço considerando-se um perímetro mínimo de proteção de 10 metros. Ressalta-se ainda que no artigo 19:

§ 1º - São dispensadas da outorga 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.

Ainda estão previstos para consumidores industriais superiores a 250 metros cúbicos por dia a apresentação de monitoramentos de parâmetros mínimos de qualidade e também de indicação do nível da água. Assim estas informações puderam ser obtidas através dos processos de outorga de uso das águas subterrâneas.

2.8 - APARATO LEGAL SOBRE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO BRASIL

Nesse item será dado ênfase ao aparato legal existente sobre recursos hídricos, em especial, às águas subterrâneas, considerando as esferas Nacional, Estadual e Municipal. De acordo com Ministério do Meio Ambiente (MMA):

A gestão da questão ambiental e dos recursos hídricos, em particular, é um grande desafio para todo o mundo, juntamente com a questão econômica e social. No Brasil, a gestão dos recursos hídricos assume crescente influência. Embora o Brasil tenha uma posição privilegiada no mundo em relação à disponibilidade de recursos hídricos é preciso garantir água em qualidade e quantidade adequada aos múltiplos usos para a atual e para as futuras gerações.

Uma essencial reflexão deve ser feita em torno do fortalecimento do espaço público e da institucionalização de práticas participativas na elaboração de políticas públicas inovadoras que marcam rupturas com a dinâmica predominante, ultrapassando as ações de caráter utilitarista e clientelista. Numa sociedade democrática os processos são tão ou mais importantes do que os próprios resultados. Portanto, o desafio é buscar uma coerência sincrônica entre produtos e processos socioambientalmente sustentáveis.

Nesse contexto, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) desenvolve atividades desde junho de 1998, ocupando a instância mais alta na hierarquia do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, instituído pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. O CNRH, um Conselho de Estado, congrega um rol de atores e instituições sociais representativos que atuam numa dinâmica de permanente negociação e busca de consenso. (MMA, 2008, p.21).

Compondo a esfera Nacional, a Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, institui a Política e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Sendo de um modo geral a principal legislação existente em nosso país que trata da temática água.

Revisar-se-á agora algumas das principais resoluções do CNRH que compõem o aparato legal referente à gestão dos recursos hídricos, as quais estão elencadas a seguir:

- Resolução nº 5, de 10 de abril de 2000 – Estabelece diretrizes para a formação e o funcionamento de Comitês de Bacia hidrográfica;
- Resolução nº 9, de 21 de junho de 2000 – Institui a Câmara Técnica Permanente de Águas Subterrâneas – CTAS;

- Resolução nº 10, de 21 de junho de 2000 – Institui a Câmara Técnica Permanente de Gestão de Recursos Hídricos Transfronteiriços – CTGRHT;
- Resolução nº 12, de 19 de julho de 2000 – Estabelece procedimentos para o enquadramento de corpos de água em classes segundo os usos preponderantes;
- Resolução nº 15, de 11 de janeiro de 2001 – Estabelece diretrizes gerais para a gestão de águas subterrâneas;
- Resolução nº 16, de 8 de maio de 2001 – Estabelece critérios gerais para outorga de direito de uso de recursos hídricos;
- Resolução nº 21, de 14 de março de 2002 – Institui a Câmara Técnica Permanente de Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos – CTCOB;
- Resolução nº 22, de 24 de maio de 2002 – Estabelece diretrizes para inserção das águas subterrâneas no instrumento Planos de Recursos Hídricos;
- Resolução nº 30, de 11 de dezembro de 2002 – Estabelece metodologia de codificação das bacias hidrográficas em âmbito nacional;
- Resolução nº 32, de 15 de outubro de 2003 – Institui a Divisão Hidrográfica Nacional;
- Resolução nº 48, de 21 de março de 2005 – Estabelece critérios gerais para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos;
- Resolução nº 51, de 18 de julho de 2005 – Institui a Câmara Técnica de Integração da Gestão das Bacias Hidrográficas e dos Sistemas Estuarinos e Zona Costeira;
- Resolução nº 56, de 28 de novembro de 2005 – Estabelece a composição da Câmara Técnica de Integração da Gestão das Bacias Hidrográficas e dos Sistemas Estuarinos e Zona Costeira;
- Resolução nº 76, de 16 de outubro de 2007 – Estabelece diretrizes gerais para a integração entre a gestão de recursos hídricos e a gestão de águas minerais, termais, gasosas, potáveis de mesa ou destinadas a fins balneários.

Ainda em âmbito Nacional existem as resoluções estabelecidas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente, apresentando:

- Resolução nº 273/2000 – "Dispõe sobre prevenção e controle da poluição em postos de combustíveis e serviços" - Data da legislação: 29/11/2000 - Publicação DOU nº 005, de 08/01/2001, p. 20-23
- Resolução nº 357/2005 – "Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões

de lançamento de efluentes, e dá outras providências." - Data da legislação: 17/03/2005 - Publicação DOU nº 053, de 18/03/2005, p. 58-63;

➤ Resolução nº 335/2003 – "Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios" - Data da legislação: 03/04/2003 - Publicação DOU nº 101, de 28/05/2003, p. 98-99;

➤ Resolução nº 368/2006 – "Altera dispositivos da Resolução Nº 335, de 3 de abril de 2003, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios" - Data da legislação: 28/03/2006 - Publicação DOU nº 061, de 29/03/2006, p. 149-150;

➤ Resolução nº 396/2008 – "Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências." - Data da legislação: 03/04/2008 - Publicação DOU nº 66, de 07/04/2008, p. 66-68;

Além deste aparato, têm-se também, a nível federal, a Portaria do Ministério da Saúde nº 518, de 25 de março de 2004, que “Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.”

Em âmbito Estadual, destaca-se a Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Sul, Lei Estadual nº 10.350/1994, de 30 de dezembro de 1994. Ela “Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos, regulamentando o artigo 171 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul.”

Tem-se ainda, em âmbito Estadual, as seguintes legislações:

✓ Decreto nº 37.033, de 21 de novembro de 1996. Que “Regulamenta a outorga do direito de uso da água no Estado do Rio Grande do Sul, prevista nos artigos 29, 30 e 31 da Lei nº. 10.350, de 30 de dezembro de 1994.”;

✓ DECRETO Nº 42.047: DECRETO Nº 42.047, DE 26 DE DEZEMBRO DE 2002. Que “Regulamenta disposições da Lei nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994, com alterações, relativas ao gerenciamento e à conservação das águas subterrâneas e dos aquíferos no Estado do Rio Grande do Sul.”

✓ RESOLUÇÃO Nº 001: RESOLUÇÃO Nº001/97. O Conselho de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul criado pela Lei nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994, regulamentada pelo Decreto nº 36.055, de 04 de julho de 1995.

Em âmbito municipal, tem-se a legislação para o município de Santana do Livramento, apresentando o abastecimento realizado pela autarquia municipal. A Lei Municipal nº 2.659/1990 que concedeu ao Departamento de Água e Esgotos (DAE) a atribuição de

perfurar, explorar, tratar e distribuir a água na área urbana do Município de Santana do Livramento.

2.9 - CARTOGRAFIA E ESCALAS

Toda representação, como toda imagem, apresenta uma certa relação com o objeto representado. Assim, a representação da superfície terrestre sob forma a forma de carta deve ser bastante reduzida, dentro de determinada proporção. Esta proporção é chamada de escala. Escala é, portanto, a relação entre o tamanho dos elementos representados em um mapa e o tamanho correspondente medido sobre a superfície da Terra (Santos, 1990). Veja diferentes escalas existentes na Figura 4.

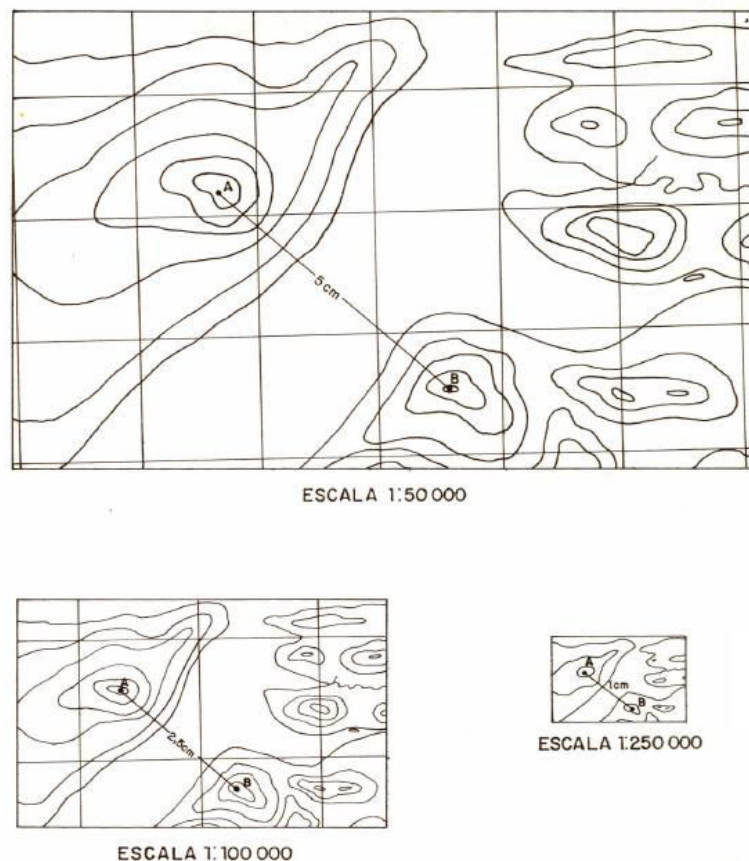


Figura 4 - Representação de uma mesma distância em diferentes escalas. Fonte: Santos, 1990.

De acordo com Santos (1990) várias são as classificações das escalas e certamente variam com o tema a ser representado. Nas cartas básicas, por exemplo, recebem também denominações diferentes.

CAPÍTULO III – CARACTERIZAÇÃO E METODOLOGIA

3.1 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria (BHRSM) se situa na fronteira sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1), aproximadamente entre as coordenadas 31°30' e 30°00' de latitude Sul e 55°30' e 54°00' de longitude Oeste de Greenwich, abrangendo uma área de 15.797,300 km². Na bacia, localiza-se parte de seis municípios:

- Santana do Livramento;
- Dom Pedrito;
- Lavras do Sul;
- Rosário do Sul;
- Cacequi,
- São Gabriel.

A população estimada na BHRSM é de 241.858 habitantes (IBGE, 2009). Entretanto, a população que reside dentro da bacia é de aproximadamente 200.000 habitantes, uma vez que as áreas urbanas dos municípios de São Gabriel e Lavras do Sul encontram-se fora da bacia.

A bacia hidrográfica do Rio Santa Maria pertence à Região Hidrográfica do Uruguai, apresentando a aparência aproximada de um “y” invertido. Os braços do “y”, respectivamente, a Leste e a Oeste, são os rios Santa Maria e Ibicuí-da-Armada, que se encontram junto à cidade de Rosário do Sul. A partir desta confluência, o Rio Santa Maria segue em direção Norte até encontrar o Rio Ibicuí-Mirim, para formar o Rio Ibicuí, recebendo nesse trajeto as águas do Rio Cacequi, na sua margem direita, e do arroio Saicã, na sua margem esquerda, próximo ao exutório da bacia.

A Figura 5 apresentam a localização geográfica das 21 SHR's localizadas na BHRSM.

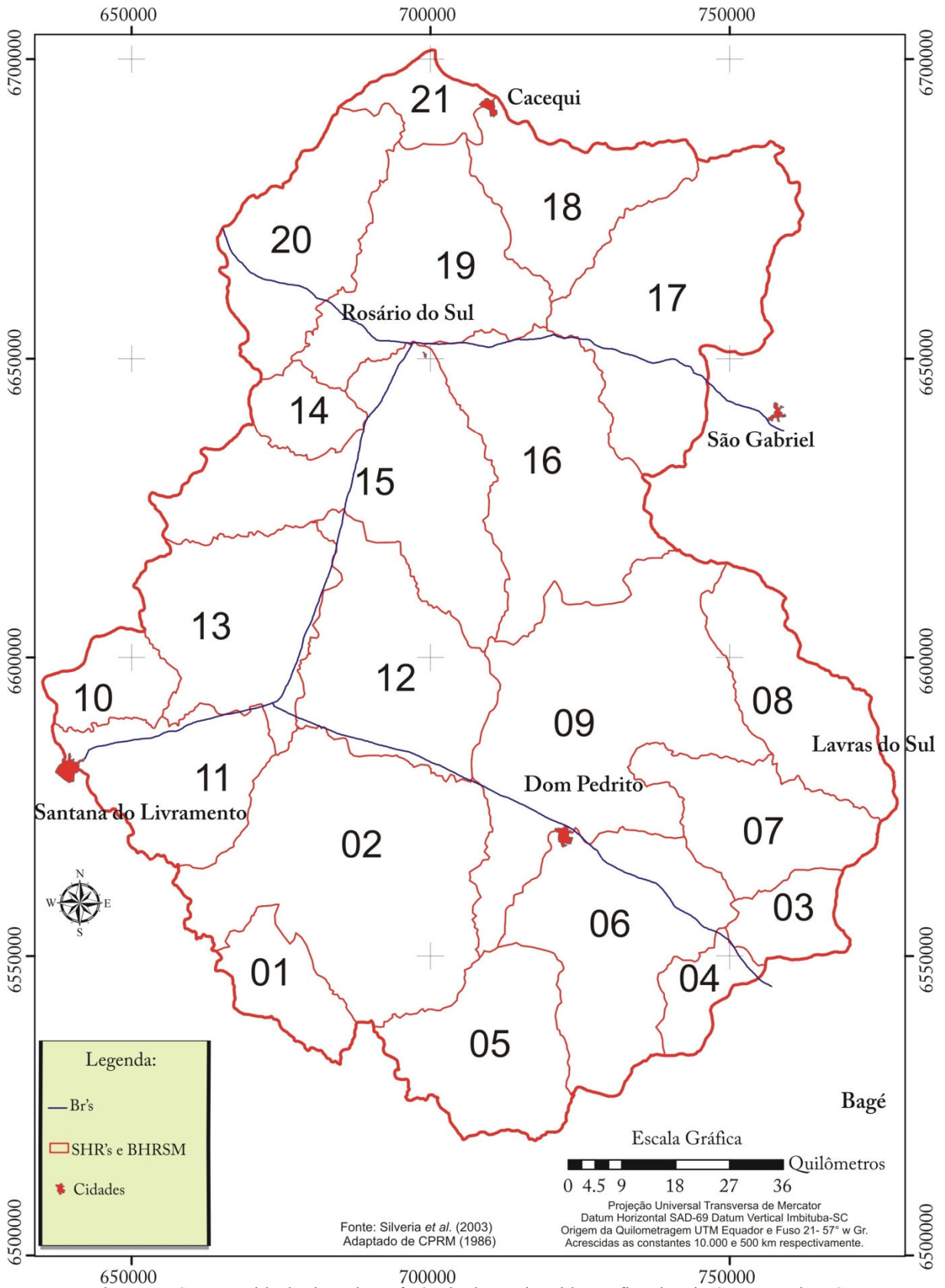


Figura 5 - Seções Hidrológicas de Referência da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria-RS.

No quadro 1 encontram-se informações de cada uma das 21 SHR's, como por exemplo: o nome, o número e o percentual de poços, a área superficial, a sua localização geográfica representada pelas coordenadas UTM associadas ao Datum SAD-69, sendo marcada a coordenada do ponto de exutório de cada seção.

Seção	Nome	Nº de Poços	(%) na BHRSM	UTM E	UTM N	Área (km²)
SHR 01*	Ponte do Upamaroti	10	1,69	673868	6558410	303,23
SHR 02	Ponte da BR-293	30	5,08	686659	6586387	1.612,91
SHR 03	Passo Bento Rengo	00	0,00	738425	6537095	189,68
SHR 04	Passo da Ferraria	00	0,00	750049	6552243	225,64
SHR 05	Fazenda Tulipa	04	0,68	713644	6551932	700,18
SHR 06	Dom Pedrito	15	2,54	720715	6571014	1.001,17
SHR 07	Passo do Guterrez	03	0,51	734874	6585021	578,89
SHR 08	Passo das Mercês	10	1,69	745186	6609420	638,10
SHR 09*	Ponte baeta e Jacaré	15	2,54	720381	6612455	1.637,95
SHR 10	Ponte da Cruz	24	4,07	657665	6597808	256,23
SHR 11	Ponte da Faxina	250	42,38	671351	6592132	640,95
SHR 12	Ponte Farrapos	26	4,41	686923	6623279	905,23
SHR 13	Ponte Conceição	29	4,92	683588	6615750	822,36
SHR 14	Ponte do Salso	03	0,51	688852	6638190	206,17
SHR 15	Ponte Ibicuí da Armada	49	8,31	701723	6648264	1.251,06
SHR 16	Rosário do Sul	24	4,07	700464	6652560	1.132,22
SHR 17	Azevedo Sodré	33	5,59	727510	6666980	1.240,57
SHR 18	Ponte Nova	17	2,88	707300	6690979	604,67
SHR 19	Ponte de Madeira	21	3,56	699698	6685745	923,67
SHR 20	Ponte Saicã	15	2,54	692580	6692582	720,40
SHR 21	Exutório	12	2,03	700643	6701385	206,03
	Total	590	100			15.797,30

Quadro 1- Informações referentes às 21 SHR's instaladas na BHRSM. Fonte: UFSM/SEMA (2004).

3.2 - GEOLOGIA

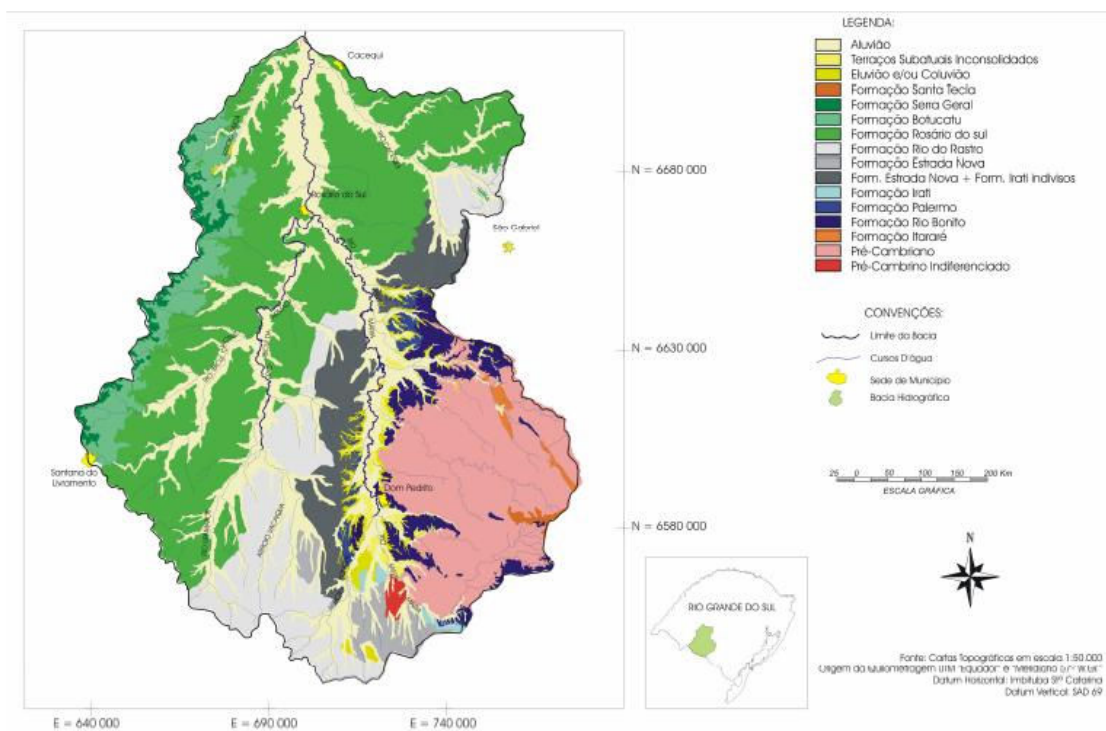
As unidades litoestratigráficas reconhecidas nos levantamentos exploratórios e nos mapeamentos elaborados até o ano de 2004, identificavam as seguintes unidades ilustradas no quadro 2.

Unidades Litoestratigráficas aflorantes na BHSM	Era/Idade	Área em (km ²)	(%) da área total da bacia
Depósitos aluvionares recentes	Quaternário	3401,7650	21,53
Terraços subatuais inconsolidados	Quaternário	129,5475	0,82
Eluvião e/ou coluvião	Quaternário	267,5600	1,69
Formação Santa Tecla	Terciário	41,1175	0,26
Formação Serra Geral	Juro-Cretáceo	205,3650	1,30
Formação Botucatu	Jurássico	800,4150	5,07
Formação Rosário do Sul	Triássico	4924,0000	31,17
Formação Rio do Rasto	Paleozóico	1488,5200	9,42
Formação Estrada Nova	Paleozóico	298,8700	1,89
Formação Estrada Nova + Fm. Irati (indivisos)	Paleozóico	952,9825	6,03
Formação Irati	Paleozóico	45,3425	0,29
Formação Palermo	Paleozóico	137,4050	0,87
Formação Rio Bonito	Paleozóico	574,4175	3,64
Formação Itararé	Paleozóico	62,9475	0,40
Formação Cambai, Complexo Granito-Gnáissico, Complexo Gnáissico-Migmatítico	Pré-Cambriano	2529,4725	16,02

Quadro 2 - Unidades Litoestratigráficas aflorantes na bacia hidrográfica do rio Santa Maria. Fonte: CPRM (1986), Silveira *et al.* (2003), Pavão (2004).

Desse quadro nota-se que cerca de (36,24%) da área total da BHRSM compreende afloramentos de arenitos do SAG (Formação Rosário do Sul + Formação Botucatu).

No Mapa Geológico da BHRSM Silveira *et al.* (2003), foram consideradas 16 formações geológicas Figura 6.



FONTE: Silveira *et al.*, (2003), adaptado por Pavão, A.D.M.

Figura 6- Mapa Geológico da BHRSM/RS Fonte: Silveira *et al.*, (2003), adaptado por Pavão (2004)

3.3 - HIDROGEOLOGIA

Hausman (1995) separou o Estado do Rio Grande do Sul em quatro Províncias Litológicas, as quais constituem o embasamento físico para o desenvolvimento das Províncias Geomorfológicas, que, por sua vez, evoluíram numa escala de Tempo Geológico, determinando o relevo, e condicionando a drenagem superficial e/ou subterrânea. A definição das províncias está associada a diversos fatores, dentre os quais se destacam: principais linhas tectônicas, formação dos paleoambientes (suas texturas, tamanhos de grãos, composição, geometria), parâmetros hidráulicos dos aquíferos subterrâneos, sua qualidade físico-química, e também, dentro de um sistema maior, a quantidade de chuva precipitada, os tipos de vegetação, os quais, em conjunto, formam um sistema, fazendo parte do Ciclo Hidrológico. Portanto, todas estas variáveis ambientais devem ser consideradas em sua totalidade na avaliação das potencialidades e reservas de águas superficiais e/ou subterrâneas.

De acordo com Hausman (1995), devido à correlação existente entre a litologia e a geomorfologia, no estado do Rio Grande do Sul, as províncias foram distribuídas em:

- ✓ Província litológica do Cristalino, desenvolvida sob a ação dos elementos morfológicos, o que geomorfológicamente se denomina de Escudo ou Maciço;

- ✓ Província das Sedimentares Gondwânicas, originando a Depressão Periférica;
- ✓ Província Basáltica, que deu origem a três feições morfológicas distintas: o Planalto, a Borda do Planalto, e a Cuesta;
- ✓ Província das Sedimentares Litorâneas, formando a Planície Litorânea.

Esta correlação determina as linhas mestras do comportamento dos aquíferos, os quais são distribuídos em províncias e sub-províncias hidrogeológicas. A bacia do Rio Santa Maria (UFSM, 2004) apresenta três grandes Províncias Hidrogeológicas, subdivididas em sete sub-províncias, conforme se apresenta a seguir:

- **Província Escudo**
 - Sub-Província Cristalina
 - Sub-Província Cretáceo-Paleozóica
- **Província Gondwânica**
 - Sub-Província Permo-Carbonífera
 - Sub-Província Rosário do Sul
 - Sub-Província Botucatu
 - Sub-Província Aluvial
- **Província Basáltica**
 - Sub-Província da Cuesta

3.3.1 - Caracterização das Províncias e Sub-províncias hidrogeológicas

Conforme apresentado em UFSM (2004), pode-se descrever, de modo sucinto, as sub-províncias hidrogeológicas da BHRSM. Para tanto, foi confeccionado o Mapa Hidrogeológico de acordo com as Províncias Hidrogeológicas propostas por Hausman (1995), pode-se visualizá-lo na Figura 7.

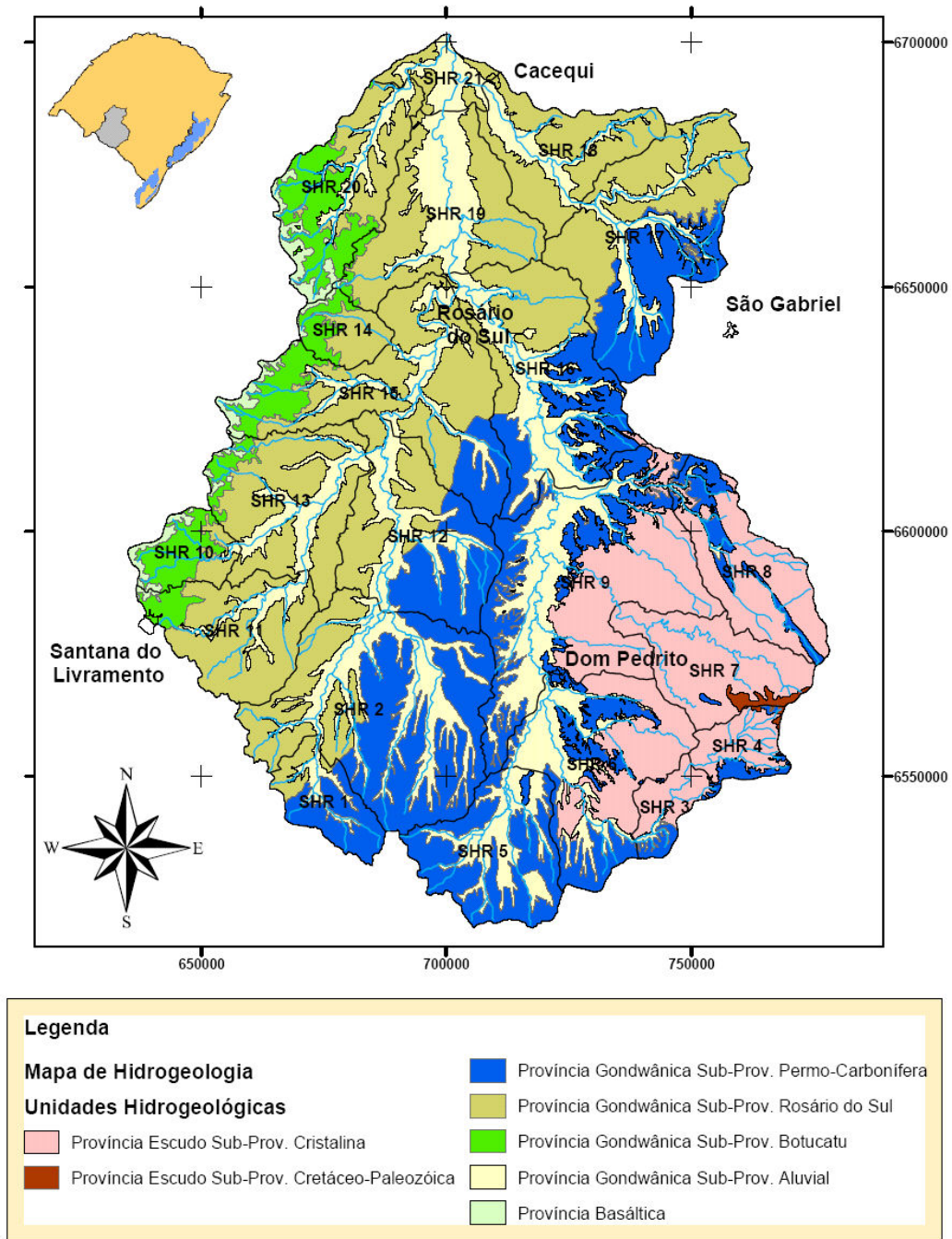


Figura 7 - Mapa Hidrogeológico da bacia do Rio Santa Maria.

3.3.1.1 - Província Escudo

Considerando a Província Escudo, ela engloba rochas pertencentes ao Escudo Uruguaio-Sul riograndense, localmente capeadas por Formações geológicas Eo-Paleozóicas e

até Terciárias, como a Formação Santa Tecla, subdivididas em duas sub-províncias, descritas a seguir:

- Sub-província Cristalina, sob o nome genérico de cristalina, engloba rochas cristalinas e cristalofílicas, bem como os metasedimentos, incluindo rochas das unidades Pré-Cambriano (15 PCCboi) e Pré-Cambriano Indiferenciado (16 PCi). Sua ocorrência, na bacia, foi da ordem de 15,62%, ocupando cerca de 2.466,525 km². Seu comportamento hidrodinâmico é de aquífero fraturado, não sendo esperadas boas condições hidrogeológicas e volumes de águas subterrâneas, mas devem ser consideradas suas fraturas tectônicas e a espessura do manto de alteração (regolito). Salienta-se que o regolito pode funcionar como um aquífero poroso, portanto não deve ser desprezado como reservatório de águas subterrâneas, pois pode ser utilizado através de poços escavados, ou como fontes para abastecimento unifamiliar. Hausman (1995) citou vazões de 1m³/h em poços escavados, e em poços perfurados até o contato com a rocha dura, sendo as águas classificadas como bicarbonatadas sódicas. Essa sub-província deve apresentar as maiores taxas de escoamento superficial pela sua natureza de aquífero fraturado e não poroso.

- Sub-província Cretáceo-Paleozóica, a esta foi incluída a Formação Santa Tecla (4 KTst) que apresenta rochas muito litificadas ou silicificadas, que se depositaram sobre rochas Pré-Cambrianas, formando extensas mesas, semi-tabulares. Existem poucas informações sobre esta sub-província, em face da baixa densidade populacional onde ela ocorre, fornecendo, de acordo com Hausman (1995), poços com vazões da ordem de 1,0 m³/h ou secos. Seu comportamento hidrodinâmico é de aquífero fraturado e deve apresentar um alto índice de escoamento superficial, devido o seu grau de cimentação, apesar de ser composto de rochas sedimentares porosas. Sua ocorrência foi da ordem de 41,12 km², ocupando 0,26% da área do total da bacia hidrográfica.

3.3.1.2 - Província Gondwânica

Pacote de rochas sedimentares depositadas diretamente sobre o Escudo Uruguaio Sul-riograndense, como parte da Bacia do Paraná, apresentam idades deposicionais desde a era Paleozóica, Neo-Carbonífero, Grupo Itararé, até o Neo-Cretáceo, incluindo-se o Quaternário. Representam cerca de 24% da área da bacia hidrográfica, com extensão de 3.798,87 km². Também se incluiu nessa sub-província, os depósitos arenosos inconsolidados, por

apresentarem uma possibilidade de conter reservas de águas subterrâneas, compondo os aquíferos rasos, com reservas ainda pouco conhecidas, denominadas de Sub-província Aluvial, pertencente ao Quaternário. Na área de estudo, a província Gondwânica foi subdividida em:

- Sub-província Permo-Carbonífera, englobando as formações pertencentes aos Grupos Itararé, Guatá e Passa Dois, incluindo as Formações geológicas; 14 (Pit), 13 (Prb), 12 (Pp), 11 (Pi), 10 (Pen-Pi), 9 (Pen) e 8 (Prr). Litologicamente, dominam formações argilosas e/ou arenosas, sendo envelopadas a Oeste, na zona da Cuesta, pela Formação Serra Geral, o que pode formar aquíferos confinados. Em sua maior extensão, forma aquíferos porosos livres, com índices de escoamento superficial diferenciados em função da declividade média do terreno, constituindo importantes áreas de recarga dos sistemas aquíferos profundos. Sua ocorrência foi da ordem de 3.560,485 km², representando 22,54% da área total da bacia. A qualidade físico-química das águas subterrâneas dá-se em função dos aspectos granulométricos, texturais, composicionais, no grau de cimentação das unidades, e na facilidade de circulação das águas subterrâneas. Por exemplo, cita-se a ocorrência de carvão na Formação Rio Bonito, o que pode fornecer características sulfurosas às águas subterrâneas, assim como as concreções ou cimentações carbonáticas podem conferir dureza elevada às águas, tornando-as impróprias para o consumo humano. Hausman (1995) classificou as águas desta sub-província, principalmente, como carbonatadas sódicas. Em relação às vazões obtidas, elas chegaram a 52,3m³/h, especialmente, em Dom Pedrito na Formação Rio Bonito.

- Sub-província Rosário do Sul, a qual é considerada por Hausman (1995) como hidroestrutural, onde podem ser observado um grupo de horizontes condutores de águas subterrâneas, intercalados por rochas de comportamentos de aquícludes e aquíquardos, formando um pacote, cuja diversificação não é somente quanto à permeabilidade, como também quanto à qualidade da água. O horizonte estratigráfico que constitui essa sub-província, pode ser isolado dos outros por um topo (Formação Serra Geral) e uma base impermeáveis (Aquíquardo e Aquíclude), e ainda, localmente, por diques básicos que dificultam a circulação das águas subterrâneas, podendo levá-las à mineralização. As vazões são bastante irregulares, atingindo volumes da ordem superior a 99 m³/h, na região de Santana do Livramento, mas também a valores como de zero até 6m³/h, no Município de Rosário do Sul. Na área total da bacia, sua ocorrência foi da ordem 4924,0000 km², representando 31,17%. Hidrodinamicamente funciona, portanto, como aquífero poroso, mas

localmente associado à Cuesta, no limite Oeste da bacia, pode estar silicificada e funcionar como aquífero fraturado. Nessa Sub-província Hausman (1995) classificou as águas subterrâneas como bicarbonatadas sódicas, além dos dados de Eckert e Caye (1995), que obtiveram uma amostra com pH 6,8, e dureza total 90 mg/L (pouco dura) em Santana do Livramento.

- Sub-província Botucatu, sendo composta por arenitos finos eólicos, com teores variados de argilas na matriz, em função das fácies deposicionais, o que pode conferir diferentes aspectos de qualidade físico-química e de volume explorável. A faixa de pH variou entre 6,0 e 7,5, e a dureza total foi classificada como: 2 brandas, 5 pouco duras e 2 duras (CPRM, 1997), no Município de Santana do Livramento, e a sua faixa de vazão variou de 0 até 100 m³/h. Funcionam, hidrodinamicamente, como aquífero poroso, livre e localmente confinado, seus afloramentos são importantes na recarga direta do sistema aquífero através de precipitação pluviométrica. Salienta-se que localmente esses arenitos podem ser cimentados por sílica, além de funcionarem como aquíferos fraturados, podendo apresentar baixa circulação das águas. Sua área de ocorrência foi da ordem de 800,4150 km², representando 5,07 % da área total aflorante na bacia hidrográfica.

- Sub-província Aluvial, na qual foram reunidos os depósitos constituídos por clastos de diversos tamanhos principalmente arenosos, siltsos, e cascalhos, associados às planícies aluviais dos rios, arroios que drenam esta bacia hidrográfica, com espessura máxima de 50m, de acordo com CPRM (1986). Sua extensão foi estimada em 3798,8725 km², representando 24,04 % da área total da bacia (1 Qa; 2 Qa1 e 3 Qf), sendo, por isso, tratada como uma Sub-província própria. A qualidade e a quantidade explorável das águas subterrâneas dessa Sub-província não é conhecida até o presente momento, devendo ser estudada com maiores detalhes em trabalhos futuros. Também não é ainda conhecida a recarga deste aquífero poroso raso. Nesse sentido, deve ser salientada sua importância como possível área de fonte de águas para uso complementar na agricultura irrigada, poços e barragens subterrâneas, tendo, portanto, importância para a recarga profunda.

3.3.1.3 - Província Basáltica

Na Província Basáltica, são incluídos os derrames de rochas vulcânicas, os quais podem seccionar as rochas sedimentares, formando diques intrusivos, que, por sua vez, podem afetar a circulação dos aquíferos, bem como a qualidade das águas subterrâneas em termos de salinidade ou de teor em flúor (SILVÉRIO DA SILVA *et al.*, 2002). Nessa província encontra-se a sub-província da Cuesta, (5 JKsg) situada no extremo Oeste do Estado do Rio Grande do Sul, fazendo limite na porção Oeste desta bacia hidrográfica, e normalmente em contato com arenitos da Formação Botucatu ou Formação Rosário do Sul silicificados. Hidrodinamicamente funciona como um aquífero fraturado, contribuindo, em parte, para o escoamento superficial onde apresenta textura maciça. O Rio Santa Maria é responsável pela esculturação da escarpa da Cuesta (HAUSMAN, 1995), classificando suas águas subterrâneas como bicarbonatadas sódicas, com algumas variações em função de mineralizações localizadas. Suas vazões são dependentes de diversos fatores, desde estruturais e tectônicos, como da espessura do regolito. Assim, suas vazões de exploração podem variar desde zero até 100 m³/h, em Santana do Livramento, ou entre 0 e 1 m³/h, em Rosário do Sul. Sua área estimada na bacia foi de 205,3650 km² representando 1,30% desta.

3.3.2 - Sistemas Hidroestratigráficos

Dessa forma, foram consideradas em escala de bacia hidrográfica (Global) sete unidades hidroestratigráficas de acordo com Freitas *et al.* (2004):

- Aquíferos Fissurais do Escudo Cristalino – aquíferos descontínuos, relacionados a rochas ígneas e metamórficas fraturadas do escudo cristalino;
- Aquíferos Porosos Permianos – aquíferos contínuos intergranulares relacionados às formações areníticas Rio Bonito e Grupo Itararé;
- Aquitardos Permianos – aquitardos relacionados aos sedimentitos finos (argilitos e siltitos) das formações Palermo, Irati, Estrada Nova e Rio do Rasto;
- Aquíferos Porosos Triássicos - aquíferos contínuos intergranulares relacionados às formações arenosas Pirambóia, Sanga do Cabral e Santa Maria;
- Aquíferos Porosos Eo-Cretáceos - aquíferos contínuos intergranulares relacionados às formações areníticas Guará e Botucatu;

- Aquíferos Fissurais Serra Geral – aquíferos descontínuos relacionados às lavas básicas e ácidas da Formação Serra Geral;
- Aquíferos Porosos Cenozóicos Aluvionares – aquíferos intergranulares relacionados aos espessos depósitos aluvionares recentes.

A Figura 8 ilustra um esboço preliminar da seção hidrogeológica num corte NW-SE, na BHRSM, a partir do uso dos sistemas propostos por Freitas *et al.* 2004.

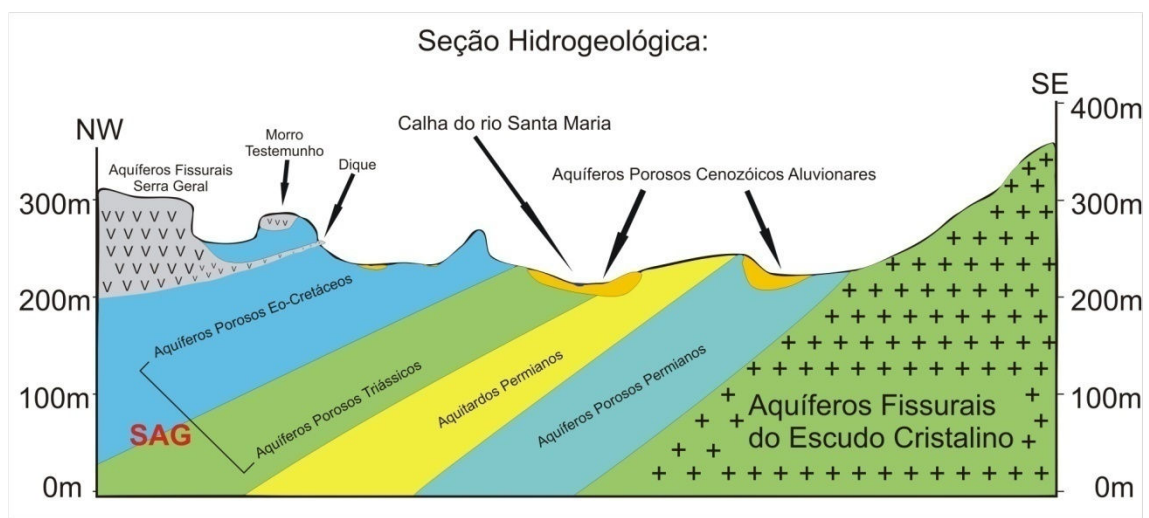


Figura 8 - Esboço preliminar da hidrogeologia de um perfil NW- SE, na BHRSM.
Org.: SILVÉRIO DA SILVA, J. L., DESCOVI FILHO, L. L. V., 2008, adaptado de Freitas *et al.* 2004.

Já Machado (2005 apud Maxey, 1964), propôs que as unidades hidroestratigráficas fossem definidas como “corpos de rocha com extensão lateral considerável compondo um arcabouço geológico que funciona razoavelmente como um sistema hidrológico distinto” (p.64). Nos estudos realizados por esse autor (Ibid.), há a definição de nove unidades hidroestratigráficas para o Sistema Aquífero Guarani no Estado do Rio Grande do Sul, entre elas: Pirambóia, Sanga do Cabral, Passo das Tropas 1 e 2, Alemoa, Caturrita, Arenito Mata, Guará e Botucatu, as quais se encontram aflorantes na BHRSM.

3.3.3 - Domínios Hidrogeológicos

O conceito de domínio hidrogeológico foi definido como representativo de um conjunto de unidades geológicas com afinidades hidrogeológicas, tendo como base principal as características litológicas das rochas.

A Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM, 2007) subdividiu o país em sete grandes domínios hidrogeológicos, a saber:

1. Formações Cenozóicas;
2. Bacias Sedimentares;
3. Poroso/Fissural;
4. Metassedimentos/Metavulcânicas
5. Vulcânicas
6. Cristalino
7. Carbonatos/Metacarbonatos

3.4 - GEOMORFOLOGIA

A paisagem da bacia em questão encontra-se sobre três grandes compartimentos distintos: o Escudo Uruguaio Sul-Rio-Grandense (de constituição cristalina antiga), a Depressão Central (constituída por rochas sedimentares de idade variável Permo-Triássicas a Quaternário), e o Planalto (constituído por rochas vulcânicas de caráter ácido e básico).

3.5 - SOLOS

Segundo relatório e SIG executados por UFSM/SEMA (2004), e EMBRAPA (2006) os solos predominantes na BHRSM são os Planossolos Háplicos com aproximadamente 35% de sua área figura 9. Eles ocorrem junto às planícies de inundação dos principais rios da bacia. Nesses solos realiza-se o cultivo do arroz irrigado, principal atividade agrícola da BHRSM.

Nessa bacia ocorrem vinte e dois diferentes tipos de solos, além de afloramentos rochosos conforme quadro 3.

Classes de Solos	Sigla
ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico típico	APt1
ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico típico	APt2
ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico típico	APt3
ARGISSOLO VERMELHO Distrófico arênico	PVd2
ARGISSOLO VERMELHO Distrófico latossólico	PVd3
ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico	PVd7
ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico latossólico	PVe
CHERNOSSOLO ARGILÚVICO Órtico saprolítico	MTo1
CHERNOSSOLO ARGILÚVICO Órtico vertissólico	MTo2
LUVISSOLO HÁPLICO Órtico típico	TPo1, TPo2 e TCo
NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico	RLd3 e RLd4
NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico	RLe3 e RLe4
NITOSSOLO VERMELHO Distroférico latossólico	NVdf2
PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico arênico	SGe1
PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico	SXe1
PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico vértico	SXe2
VERTISSOLO EBÂNICO Órtico chernossólico	VEo1
Afloramento Rochoso	AR
ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO Alítico típico + ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico	APt1+ PVd7
NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico + ARGISSOLO VERMELHO Distrófico arênico + VERTISSOLO EBÂNICO Órtico chernossólico	RLe4+ PVd2+ VEo1
NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico + Afloramento Rochoso	RLe3+AR
NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico + VERTISSOLO EBÂNICO Órtico chernossólico	RLe4+VEo1
PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico + ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico	SXe1+PVd7

Quadro 3- Classes e Siglas dos Solos da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria Fonte: SM-SIG1 atualizado para o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos EMBRAPA, (2006).

Secundariamente, os Argissolos figuram com cerca de 34% da área da BHRSM. E ainda ocorrem em menor percentual outras classes de solos como, por exemplo: Chernossolos, Luvisolos, Neossolos, Nitossolos e Vertissolos além de associações de solos conforme quadro 4.

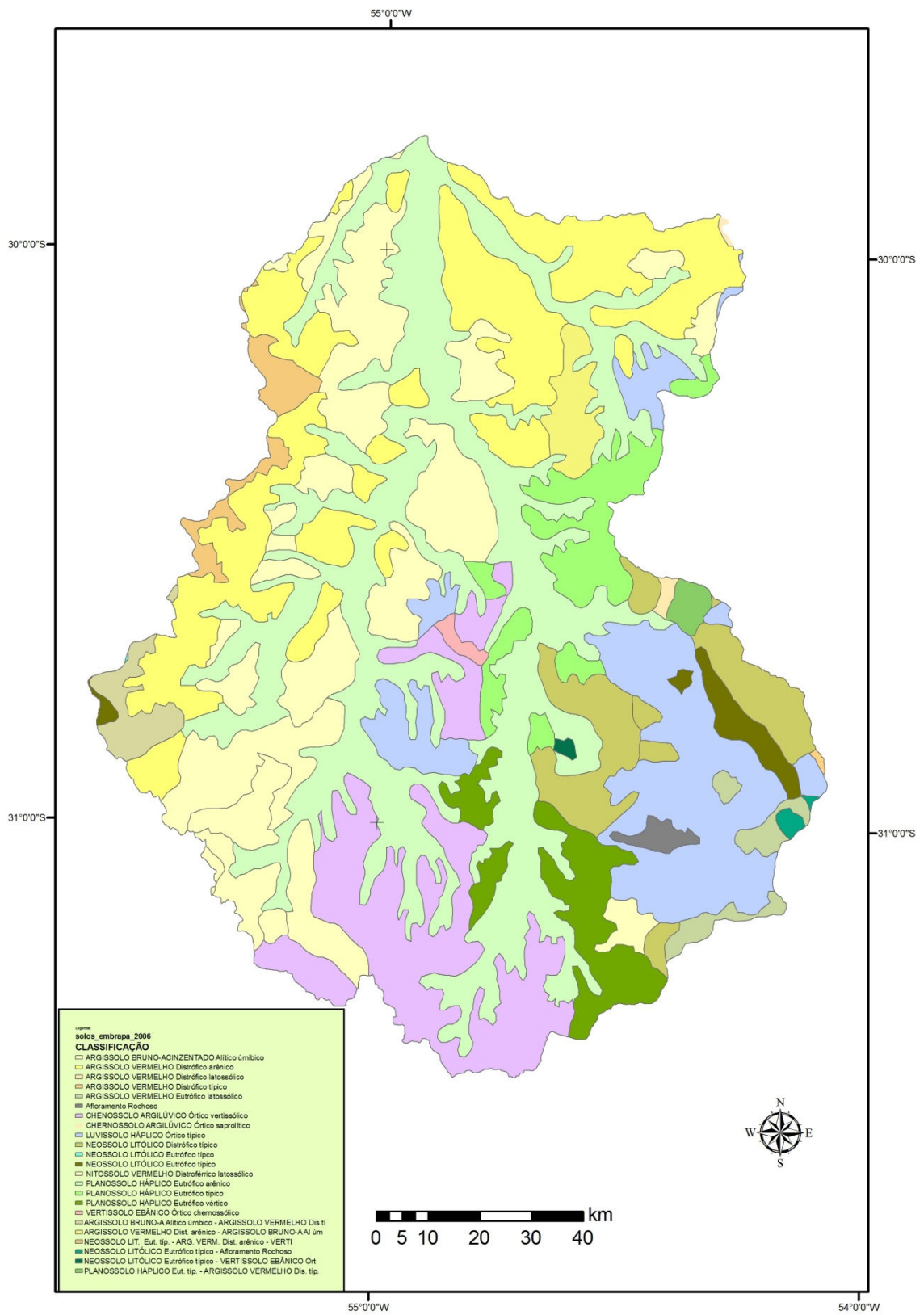


Figura 9 – Mapa de Solos da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria Fonte: SM-SIG1 atualizado para o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos EMBRAPA (2006)

Classe de solo	Área na bacia (km ²)	%
PLANOSSOLO	5.479,166	34,77
ARGISSOLO	5.382,934	34,16
LUVISSOLO	1.632,840	10,36
CHERNOSSOLO	1.557,403	9,88
NEOSSOLO	925,106	5,87
NITOSSOLO	9,846	0,06
AFLORAMENTOS	60,257	0,38
APT1+PVd7	184,423	1,17
PVd2+APt2	208,880	1,32
RLe4+PVd2+VEo1	219,371	1,39
RLe3+AR	24,901	0,16
RLe4+VEo1	12,350	0,08
SXe1+PVd7	63,280	0,40
Σ	15.760,757	100

Quadro 4- Classes e áreas e percentuais dos Solos na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria Fonte: SM-SIG1 atualizado para o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos EMBRAPA, (2006).

3.6 - CLIMA

De acordo com Hausman (1995), que adotou o sistema de Köppen, pode-se classificar a bacia em estudo em dois tipos essenciais de clima, o C_{fah} e o C_{fak}. Ambos os climas são temperados quentes ou mesotermiais, tipo fundamental, mesotermal sem estação seca, e grupo subtropical com verões quentes. O primeiro representa a maior porção, em torno de 75% da área estudada, com invernos moderados, e temperatura média anual superior a 18°C. Já o segundo, apresenta inverno frio, com temperatura média anual inferior a 18°C.

Segundo Eckert e Caye (1995), a faixa de variação de precipitação na BHRSM compreende-se entre 1500 a 1600 mm/ano.

3.7 - HIDROGRAFIA

A hidrografia da bacia em estudo está composta pelo Rio Santa Maria que dá nome a bacia hidrográfica e seus afluentes. Dentre estes, pode-se citar como rios principais o Cacequi, Ibicuí da Armada, Ibicuí da Cruz, Ibicuí da Faxina, Saicã, Jaguari, Ponche Verde, Upacarái, Upamoroti e Vacaiquá Figura 10.

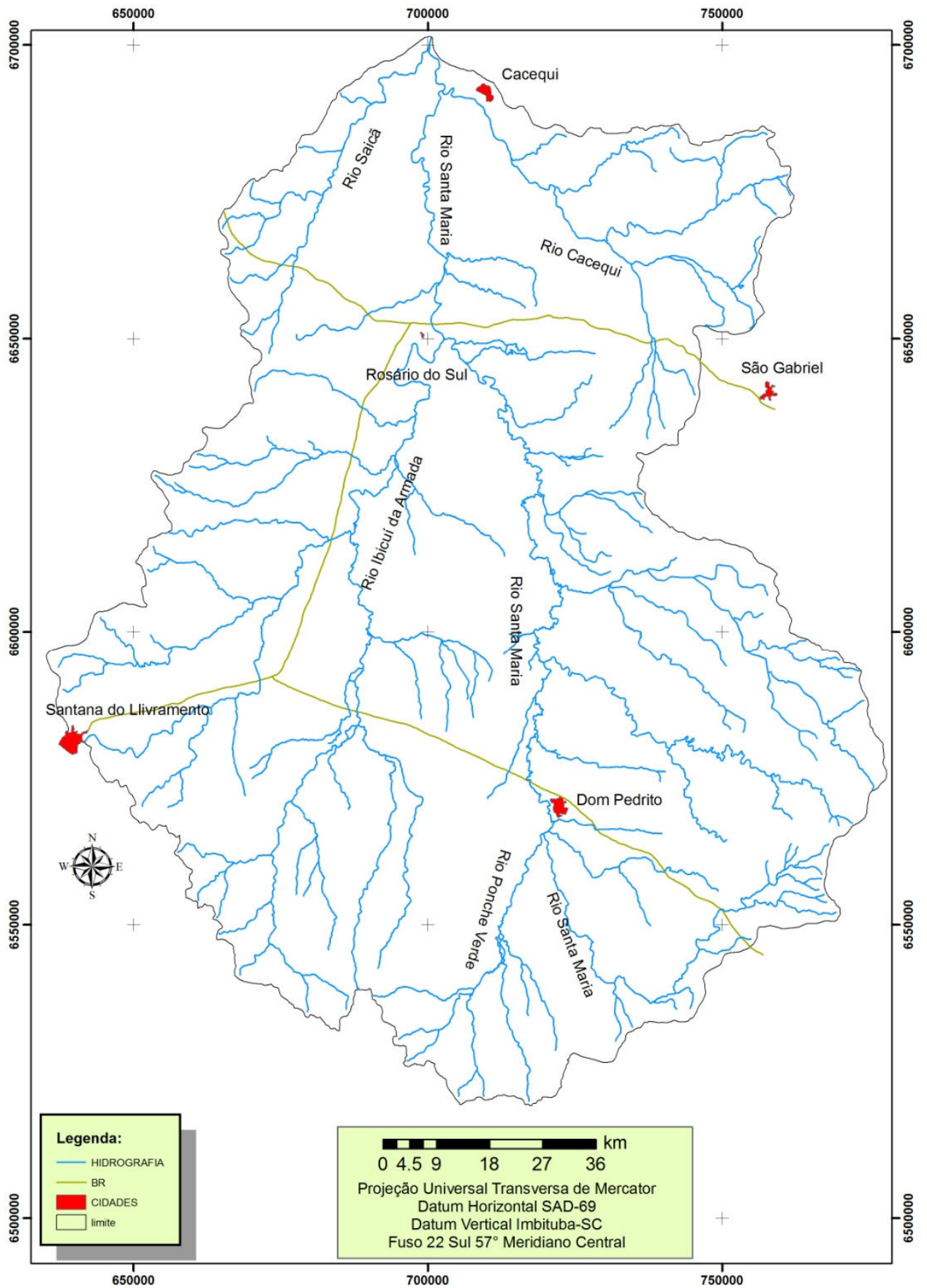


Figura 10 – Rede Hidrográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria-RS. Fonte SM-SIG1

3.8 - VEGETAÇÃO

Segundo o mapeamento fitogeográfico proposto pelo IBGE (1986), no projeto RADAMBRASIL, encontram-se três grandes regiões fitoecológicas na BHRSM: a Savana, a Estepe e a Savana Estépica.

A Savana também conhecida como campo, encontra-se em menor quantidade nas porções nordeste da bacia, onde o relevo apresenta-se geralmente aplainado, e a vegetação aí presente é constituída de gramíneo-lenhos com variações, mas nunca desconstituída de árvores. A região de estepe ou campanha associa-se à depressão do rio Santa Maria. Já a região da Savana Estépica, também conhecida como campanha, ocupa terrenos de origem arenítica, junto ao divisor de águas a oeste da bacia em estudo, coincidindo com a borda oriental do Planalto da Campanha IBGE (1986).

3.9 - Materiais e métodos

A Política Nacional de Recursos Hídricos Lei Federal nº 9.433/1997 em seu Capítulo I Art. 1º V estabelece a bacia hidrográfica como unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos. Já que as unidades geológicas podem ocupar a área de uma bacia hidrográfica, de várias bacias hidrográficas, dimensões maiores como um país ou parte de vários países (transfronteiriça), houve a necessidade de se estabelecer níveis de abrangência como subsídios para a outorga e a gestão dos recursos hídricos subterrâneos considerando-se os níveis de abrangência global, regional e local Costa (2009). Outra preocupação atual dos gestores de recursos hídricos consiste em relacionar, através do ciclo hidrológico, as águas superficiais e as águas subterrâneas.

As resoluções nºs 09, 10, 12 e 22 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos mencionam a necessidade de que, nos estudos integrados como o de bacias hidrográficas, sejam incluídos os estudos dos aquíferos.

A partir dos níveis de abrangência propostos por Costa (2009), foi elaborado um paralelo que se propõe a uma aplicação em estudos dos recursos hídricos subterrâneos para a BHRSM quadro 5. Neste quadro são introduzidas escalas numéricas para cada nível de abrangência seguindo critérios de generalização, ou seja, do global (escala menor, mais generalizada) até o local (escala maior, com riqueza de detalhes).

Níveis de abrangência	Costa (2009) ASUB-PB¹	ASUB-SM²	Escala de abrangência
Global	Maior que a Bacia Hidrográfica	Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos Províncias Hidrogeológicas Sistemas (Aquíferos + Aquitardos) Unidades Hidroestratigráficas	Igual ou menor que 1:250.000
Regional	Bacia Hidrográfica ou parte dela	Bacia Hidrográfica SHR's	1:50.000 à 1:250.000
Local	Captação de poço	Captações: Poço tubular ou escavado, Fonte/nascente	Igual ou maior que 1:50.000

Quadro 5- Níveis e escalas de abrangência para gestão dos recursos hídricos subterrâneos.

Este trabalho apresentou produtos distintos que auxiliarão na elucidação e entendimento dos aquíferos para subsidiar a gestão das águas subterrâneas, além da sua interação com o restante do ciclo hidrológico. A delimitação espacial desta pesquisa foi a Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria (BHRSM), não importando informações exteriores ao seu limite. Entre esses produtos, cita-se: a definição dos Domínios e Sistemas Hidrogeológicos presentes na BHRSM; a análise da superfície potenciométrica; o estudo das concentrações de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) especializadas em mapas, e a aplicação da metodologia *GOD* para análise da vulnerabilidade à contaminação do aquífero (segmentada em 4 Domínios distintos e em 21 SHR's) da BHRSM.

Dessa forma, descreve-se de forma separada as metodologias utilizadas para elaboração dos trabalhos de cada uma dessas etapas, que são de fundamental importância para a gestão dos recursos hídricos, em especial, as águas subterrâneas. Convencionou-se, a partir do trabalho de determinação de níveis de abrangência para outorga de águas subterrâneas desenvolvido por Costa (2009), elaborar um paralelo com inclusão de escalas numéricas para a abrangência de cada um dos três níveis. Nesse sentido, utilizou-se, em escala global maior que a bacia hidrográfica, escalas menores que 1:250.000, em escala regional de seção hidrológica de referência (SHR), escalas entre 1:250.000 a 1:50.000, e, na escala local, o poço em escalas maiores que 1:50.000.

¹ ASUB-PB – Subprojeto de Campina Grande - Paraíba (UFCG) do Projeto ASUB Integração dos instrumentos de enquadramento, outorga e cobrança para gestão das águas subterrâneas financiado pela FINEP/CT-HIDRO (2008-2011) processo institucional CNPq/CT-HIDRO 52.0129/2008-3.

² ASUB-SM – Subprojeto de Santa Maria (UFSM) do Projeto ASUB.

Encontrou-se algumas defasagens no mapa geológico exposto por Pavão (2005), baseado no mapa geológico da CPRM (1986) e no SM-SIG1 de Silveira (2003). Isso foi constatado ao se comparar a geologia do SM-SIG1 com o mapa geológico do Rio Grande do Sul do SIG-RS da CPRM (2008). Cabe-se salientar que devido aos avanços de técnicas de mapeamento geológico ocorridos entre os anos de 1986 e 2008, há disponível atualmente SIG com grande riqueza de detalhes geológicos para todo território estadual, em escala de 1:750.000 no CD do Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul.

3.10 - Dados

Os objetos de amostragem dessa pesquisa foram os poços, ou seja, água subterrânea e suas propriedades físicas, químicas e hidráulicas. O tipo de amostragem efetuado para essa pesquisa pode ser considerada aleatória, pois a distribuição dos pontos de coleta (poço) ocorreram de forma casual, conforme destaca Landin (2002).

O Sistema de Informação de Águas Subterrâneas (SIAGAS), localizado no sítio da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), cada poço do SIAGAS é identificado por dez dígitos. No Estado do Rio Grande do Sul, é utilizado o número indicador 43 com mais oito dígitos, como, por exemplo, poços SIAGAS número 4300000253, localizado no Município de Santana do Livramento (Figura 13). A partir do cadastro SIAGAS, foram utilizados 511 poços e/ou nascentes cadastrados até junho de 2009.

Em relação aos dados advindos do Departamento de Recursos Hídricos (DRH), obteve-se informações de cerca de 31 processos de outorgas, regularização, e também de monitoramento de poços para múltiplos usos da água subterrânea. No caso dos monitoramentos, eles ficam obrigatórios para casos em que se explora acima de 250 m³/d de água subterrânea.

Nos trabalhos de campo, realizados nos Municípios de Santana do Livramento, Rosário do Sul, Lavras do Sul, e Dom Pedrito, foram cadastrados cerca de 13 poços tubulares, 5 poços de observação, 22 poços escavados e 8 nascentes. Foram coletadas 38 amostras de água, e mensurados os parâmetros de campo com uso dos medidores multiparâmetros Horiba D-55, para o pH e o Oxigênio Dissolvido, sendo a temperatura da água mensurada com termômetro. Com o uso do condutivímetro HI-93000 Hanna, obteve-se a condutividade elétrica em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (microsiemens por centímetro). A partir desta, utilizou-se a multiplicação

pela constante 0,65 para se obter as concentrações de Sólidos Totais Dissolvidos (STD), sendo isso proposto por autores como Mattheß (1973), Feitosa e Manoel Filho (1997). Assim, pode-se correlacionar os resultados de concentrações de STD com a legislação CONAMA, Resolução nº 357/2005 e nº 396/2008.

Sempre que possível, mediu-se o nível da água em poços tubulares com uso do freatímetro sonoro marca Jaciri que possui cabo com 100 metros de comprimento. Nos poços escavados, utilizou-se trena metálica de 8 metros. Tanto em poços tubulares como em escavados, o nível da água foi referenciado a superfície do solo. Assim sendo, os trabalhos de campo, visando à coleta de dados, foram realizados com a finalidade de recobrir e complementar os dados nas áreas com vazio de informações dentro da BHRSM.

A partir das informações contidas no cadastro SIAGAS/CPRM, no cadastro DRH/SEMA, e nos cadastros realizados em campo, elaborou-se um banco de dados hidrogeológicos referentes a 590 poços tubulares, escavados, e nascentes pertencentes à BHRSM. O banco de dados é composto de informações básicas dos poços como:

- Dados Gerais: Identificação ou ID do poço, nome do poço, proprietário do poço, natureza do ponto, uso da água (doméstico, industrial, etc.), cota do terreno (m), localização do poço (coordenadas UTM norte e leste), situação do poço (ativo, desativado, equipado, etc.);
- Dados Construtivos: Profundidade Inicial (m), Profundidade Final (m), Perfurador e Método de perfuração (percussão, rotativo, rotopneumático);
- Dados Geológicos: Feições Geomorfológicas e Formações Geológicas;
- Dados Hidrogeológicos: Condição do Aquífero no ponto;
- Teste de Bombeamento: Nível Estático (m), Nível dinâmico (m), Duração do teste (h), Vazão específica ($m^3/h/m$), Permeabilidade (m/s), Transmissividade (m^2/s), Vazão após estabilização (m^3/h);
- Análises Físico/Químicas: Condutividade Elétrica ($\mu S/cm$), pH, Cor Aparente (mgPt Co/L), Turbidez (NTU), Temperatura da água ($^{\circ}C$).

As coordenadas contidas nos dados gerais encontram-se no Sistema Universal Transversal de Mercator (UTM), utilizando-se como referência o Datum Horizontal “South American Datum”, 1969, (SAD-69) e o Datum Vertical o Porto de Imbituba/Santa Catarina. A origem da quilometragem UTM Equador e meridiano $57^{\circ}W$ de GR, acrescidas as constantes 10.000 km e 500 km respectivamente.

Utilizou-se como base cartográfica o SM-SIG1 - Sistema de Informações Geográficas da BHRSM - proposto, executado, e aprimorado por trabalhos anteriores (UFSM/SEMA 2004), como pela equipe do Grupo de Gestão dos Recursos Hídricos (GERHI/UFSM). O SM-SIG1 é composto por vários planos de informações, os quais são representados pelos seus *shapefiles*. Entre os *shapefiles* encontra-se:

- *shapes* da base cartográfica (limite da BHRSM, curvas de nível, seções hidrológicas de referência (SHR's), rede de drenagem, centros urbanos, estradas, etc);
- *shapes* temáticos (geologia, hidrogeologia, solos, etc).

Para os poços que não apresentaram a informação de cota altimétrica e que não foram visitados em campo, recuperou-se a informação da altimetria, com escala de 1:250.000, a partir das imagens do Banco de dados geomorfométricos do Brasil (TOPODATA), disponibilizados pela Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR) e pertencente ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Utilizaram-se essas imagens TOPODATA, visto que elas apresentam uma melhor resolução espacial, ou seja, 30 x 30 metros.

Essas imagens representam um produto refinado de reamostragens, realizadas a partir de imagens de menor resolução espacial, como o caso das imagens *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) que apresentam resolução espacial de 90 x 90 metros.

Com a presente pesquisa pôde-se concluir também que ocorre a existência de SHR's com baixa densidade de informações, bem como, duas SHR's (as de números 03 e 04) não possuem informações disponíveis referentes a poços e/ou nascentes cadastrados. Mesmo nas SHR's com maior quantidade de informações disponíveis, existem grandes setores com vazios de informações. Como exemplo cita-se o caso da SHR 11, com uma maior quantidade de informações referentes a captações cadastradas, porém mal distribuídas espacialmente, fazendo com que ocorram grandes áreas com vazios de dados hidrogeológicos.

3.11 - Interpolação Espacial

Os mapas de distribuição espacial da cota potenciométrica, das concentrações dos Sólidos Totais Dissolvidos, e da vulnerabilidade foram executados com o Programa SURFER 8.0, sendo utilizado o algoritmo de interpolação krigagem.

Após a execução dos mapas, no programa SURFER 8.0, eles foram exportados em formato *shapefile* e retrabalhados no programa ArcGIS 9.3.

A Editoração final dos mapas foi executada no programa Corel Draw da COREL INC.

3.11.1 - Análise da superfície potenciométrica na BHRSM

Para a elaboração da superfície ou cota potenciométrica (S.P.) da BHRSM, utilizou-se os valores de níveis estáticos de 322 poços e/ou nascentes (23 dos cadastros de campo, 18 dos processos do DRH e 281 poços do SIAGAS) levantados até agosto de 2009.

A cota potenciométrica de cada poço é calculada individualmente a partir da relação: $S.P. = \text{Cota altimétrica} - \text{Nível estático}$. Esta relação pode ser melhor entendida observando a Figura 11 (1 – Superior e 2 – Inferior) de Hearth (1983). A imagem superior representa a vista em planta de uma área de recarga do aquífero onde as linhas de fluxo partem da região central da área de recarga, topograficamente mais elevada, no sentido radial em direção ao vale onde se encontra o corpo de água, este será alimentado tanto por escoamento superficial quanto por escoamento subterrâneo. A imagem inferior representa o perfil transversal A – A' executado na área de recarga, e ilustra as superfícies topográfica e freática do perfil.

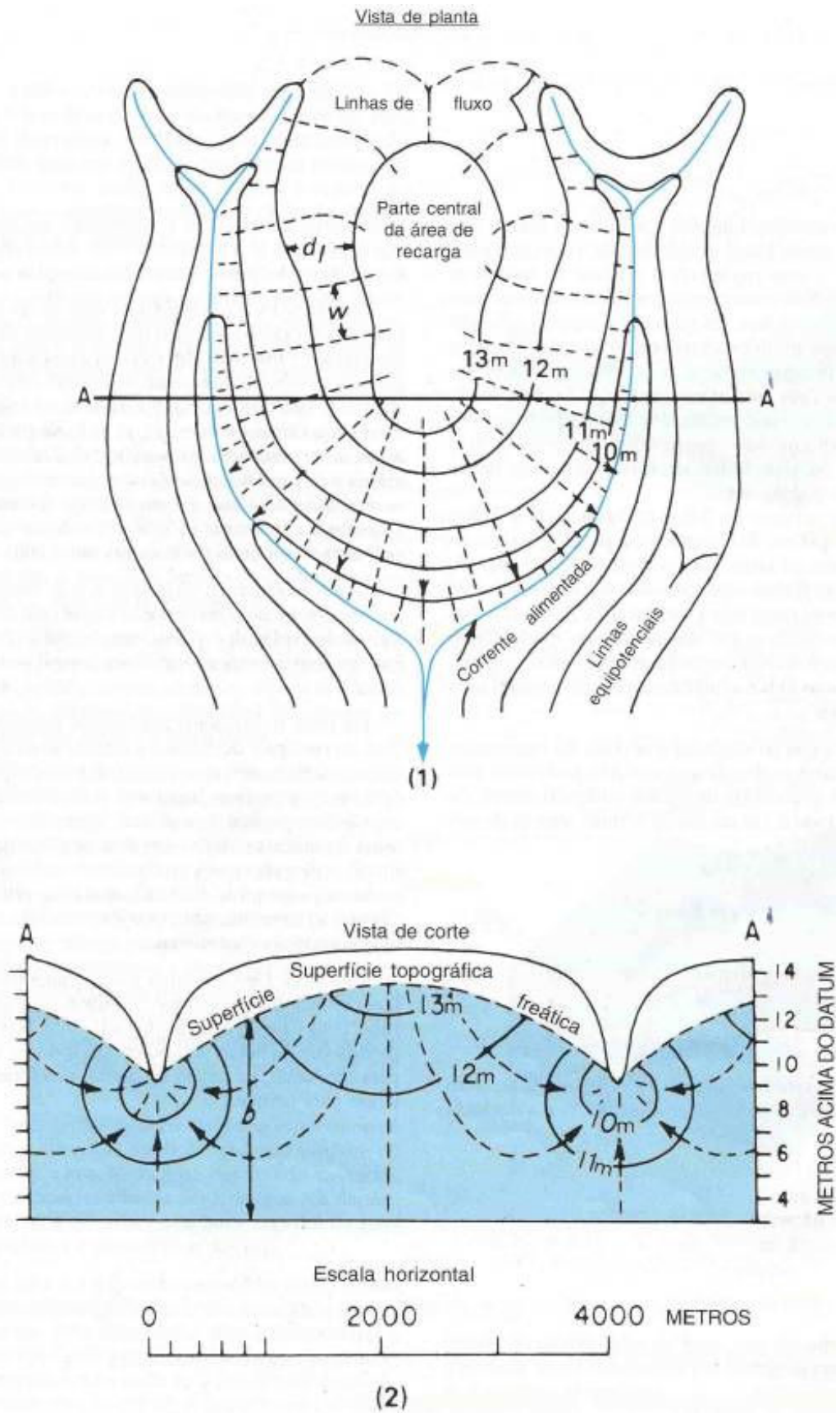


Figura 11 - Ilustra a relação entre a superfície topográfica e a superfície freática. Fonte: Hearth, 1983.

A superfície potenciométrica é obtida utilizando-se a cota da boca do poço até encontrar a água, a qual, em poços freáticos, coincide com o nível estático. Esta superfície é indicadora da direção do fluxo subterrâneo e mostra o sentido de progresso de uma pluma de contaminação, caso exista alguma poluição penetrando, a partir da superfície do terreno, e atingindo a zona saturada ou topo do aquífero. Os vetores indicam a direção de fluxo das águas subterrâneas e são espacializados em mapas com coordenadas UTM, a partir da informação referente a cada poço.

Assim, elaborou-se um mapa da cota potenciométrica com os vetores de fluxo das águas subterrâneas para a BHRSM, bem como se executou os mesmos mapas individualizados para três SHR's. Nas SHR's (01, 02 e 11), havia maiores quantidades de informações para execução de simulação. As demais SHR's apresentaram vazios de informações por falta de cadastro ou devido à inexistência de captação de água subterrânea.

3.11.2 - Espacialização hidrogeológica da qualidade das águas subterrâneas

A partir das Resoluções do CONAMA nº 357/2005 e nº 396/2008, selecionou-se parâmetros para subsidiar a proposta de enquadramento das águas subterrâneas em classes de acordo com a Resolução do CONAMA nº 396/2008, acrescidos dos resultados das pesquisas de campo. A partir dessa Resolução, e de seu Art. 12, considera-se:

Art. 12 - Os parâmetros a serem selecionados para subsidiar a proposta de enquadramento das águas subterrâneas em classes deverão ser escolhidos em função dos usos preponderantes, das características hidrogeológicas, hidrogeoquímicas, das fontes de poluição e outros critérios técnicos definidos pelo órgão competente.”
Parágrafo único. Dentre os parâmetros selecionados, deverão ser considerados, no mínimo, Sólidos Totais Dissolvidos, nitrato e coliformes termotolerantes.

Nessa pesquisa utilizou-se, portanto, as concentrações dos STD por serem de obtenção mais facilitada, através dos equipamentos disponíveis no Laboratório de Hidrogeologia (LABHIDROGEO/UFSM), e também por estarem disponíveis no SIAGAS/CPRM, e nos processos de outorga de águas subterrâneas do DRH.

Realizaram-se duas espacializações das concentrações STD para bacia hidrográfica em estudo. Em ambas as espacializações obtiveram-se os STD pela fórmula 1, descrita por Mattheß (1973), Feitosa e Manuel Filho (1997), obtendo-se o resultado em (mg.L⁻¹). A partir

dos resultados de STD em (mg.L⁻¹), pode-se compará-los com os valores propostos na resolução CONAMA n° 396/2008, mas convertendo a unidade para (µg.L¹).

$$\text{STD (mg/L)} = \text{C.E. (}\mu\text{S.cm}^{-1}\text{)} \times 0,65 \quad (\text{f\`ormula 1}).$$

Na primeira espacialização, utilizaram-se poços localizados dentro e fora da BHRSM, pertencentes aos seis municípios que a compõem. Estes resultados foram simulados com uso do programa SURFER 8.0, por meio do qual se elaborou um cartograma para interpretação espacial da distribuição qualitativa das águas subterrâneas na BHRSM e em seus entornos. No ANEXO B encontra-se detalhes da metodologia desta primeira simulação podem ser visualizados no artigo de Descovi Filho *et al.* (2008).

3.12 - AVALIAÇÃO DOS NITRATOS NA BHRSM

Apresentaram às concentrações de nitratos, um universo de 31 poços tubulares provenientes dos processos de outorga do DHR/SEMA, na BHRSM, até julho de 2009.

3.13 - A APLICAÇÃO DA METODOLOGIA GOD PARA ANÁLISE DA VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO À CONTAMINAÇÃO

A elaboração do mapa de vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos realizou-se a partir de informações referentes a 211 poços pertencentes ao cadastro do SIAGAS/CPRM (até julho de 2009), além de 48 poços e/ou nascentes levantados em três campanhas de trabalhos em campo. Utilizou-se a metodologia *GOD* de Foster & Hirata 1988 para avaliação da vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos, que fundamenta-se em três aspectos do aquífero. São eles:

- O grau de confinamento hidráulico *Groundwater hydraulic confinement (G)*, elaborado a partir de informações do tipo do substrato sobrejacente ao aquífero e/ou aquífero;
- A ocorrência litológica *Overlaying strata (O)*, representada e obtida com base no perfil geológico do poço, sendo que, dependente do tipo do material ocorrente nas camadas

sobrejacentes ao topo do aquífero, essas camadas são atingidas pelas perfurações como a do poço em análise;

- A profundidade ou distância do nível da água *Depth to water (D)*, representa o valor em metros entre a camada da superfície do terreno e o topo do aquífero no ponto. E também do nível da água em aquíferos livres ou nível estático.

Os valores de G, O e D, são atribuídos conforme a metodologia proposta por Foster & Hirata 1988 e apresentada conforme a Figuras 12.

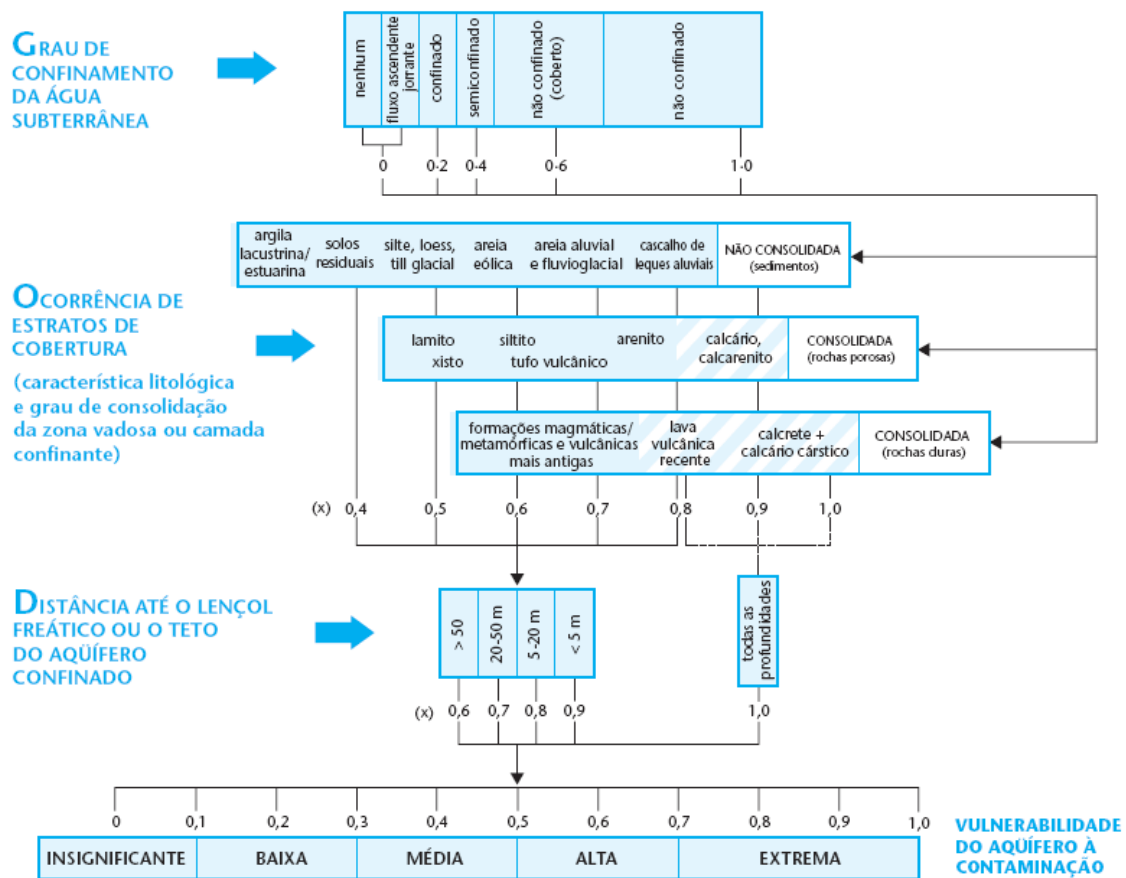


Figura 12 - Ilustra a sistemática para obtenção da vulnerabilidade do aquífero Fonte: Foster *et al.* (2006)

A Vulnerabilidade do aquífero à contaminação e seu Índice de vulnerabilidade podem ser obtidos pela expressão $IV = G.O.D$, sendo que a vulnerabilidade é expressa em números de 0 a 1 e como insignificante, baixa, média, alta e extrema conforme o quadro 6.

As Figuras 13 e 14 ilustram a sistemática para obtenção do índice numérico de vulnerabilidade em cada poço. Os índices numéricos individuais de cada um dos 256 poços encontram-se dispostos no banco de dados hidrogeológicos do CD (ANEXO A). Esse método considera um intervalo de valores entre zero e um. Assim, os poços podem apresentar intervalos de vulnerabilidade conforme o quadro 6:

Vulnerabilidade	Intervalos	Cor
Insignificante	0,0 – 0,1	Branca
Baixa	0,1 – 0,3	Verde
Média	0,3 – 0,5	Amarela
Alta	0,5 – 0,7	Laranja
Extrema	0,7 – 1,0	Vermelha

Quadro 6 – Intervalos de vulnerabilidade da metodologia GOD

Conforme ilustrado na figura 13, cada parâmetro deve ser multiplicado entre si, obtendo-se o índice de vulnerabilidade do aquífero à contaminação. Como exemplo, tem-se o Município de Santana do Livramento, por meio das notas referentes ao poço SIAGAS N° 4300000253. Quanto ao grau de confinamento hidráulico, esse poço recebeu peso 1,0, pois ele constitui um aquífero livre (ou não confinado). Ver linha 1 (grau de confinamento hidráulico da água subterrânea) ilustrada na figura 13.

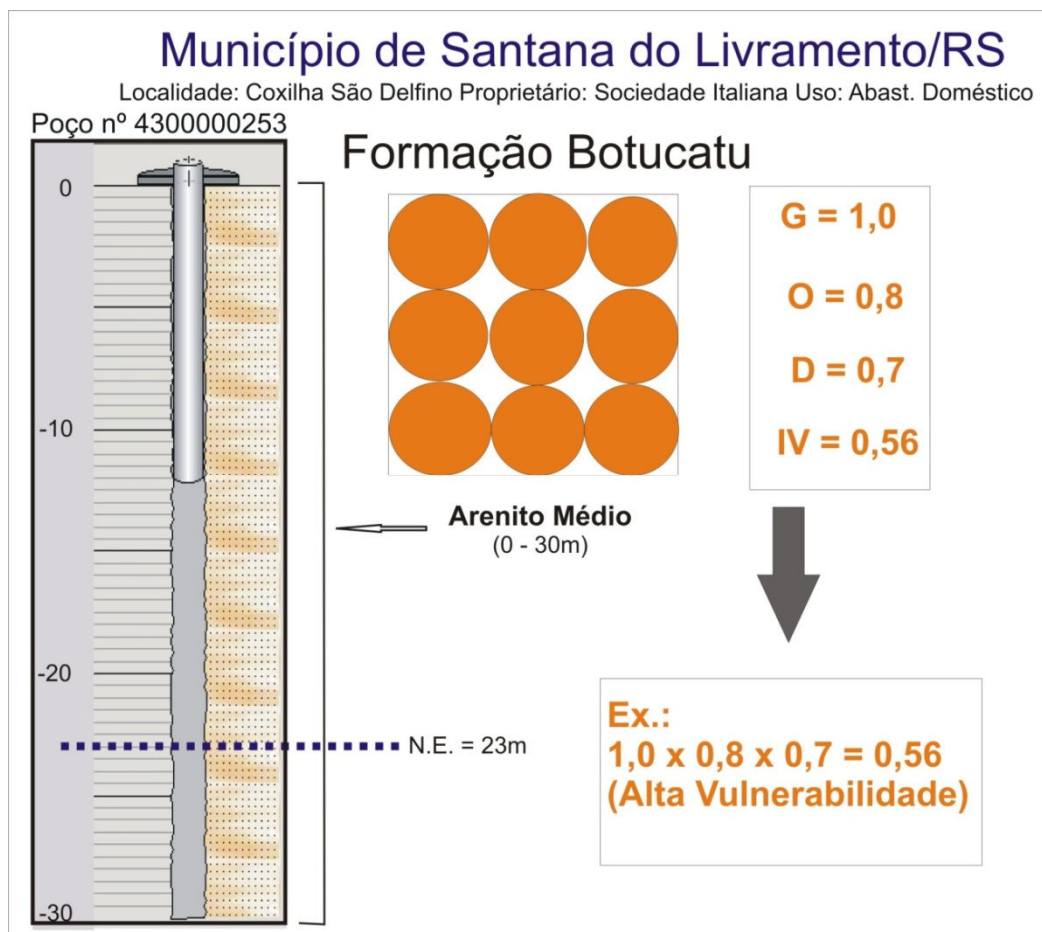


Figura 13 - Exemplo da aplicação do método GOD no poço SIAGAS N° 4300000253, em detalhe os grãos arredondados do arenito médio que compõe a Formação Botucatu.

A ocorrência litológica é composta por um arenito médio, portanto se pode observar que a linha 2 (ocorrência de estratos de cobertura), ilustrada na figura 13, indica rocha porosa consolidada, compondo um aquífero do tipo poroso granular (SILVÉRIO DA SILVA *et al.*, 2004). Essa Unidade Hidroestratigráfica corresponde à Formação geológica Botucatu, a qual é composta por quase 99% de partículas arenosa de tamanho médio bem selecionado (0,250 – 0,50 mm), com arredondamento elevado, e com índice de porosidade variando entre 17 – 30%, segundo Araújo *et al.* (1999). Portanto, todos estes atributos indicam que o material componente dos estratos saturados em água compõe um aquífero, o qual deve apresentar valor máximo 0,8.

Para arenitos argilosos como os pertencentes a algumas fácies sedimentares da Formação Rosário do Sul, tem-se como exemplo o poço SIAGAS N° 4300002746, ilustrado na figura 8, composto por arenito argiloso e que apresenta uma porosidade variando entre 14 – 24%, conforme destaca Araújo *et al.* (1999). Esse tipo de material deve receber nota menor no parâmetro de ocorrência litológica (O), ou seja, 0,7, levando em consideração a metodologia GOD. Isso é decorrente, porque os componentes argilosos de baixa permeabilidade dificultam a circulação de um contaminante dissolvido ou sobrenadante na água subterrânea.

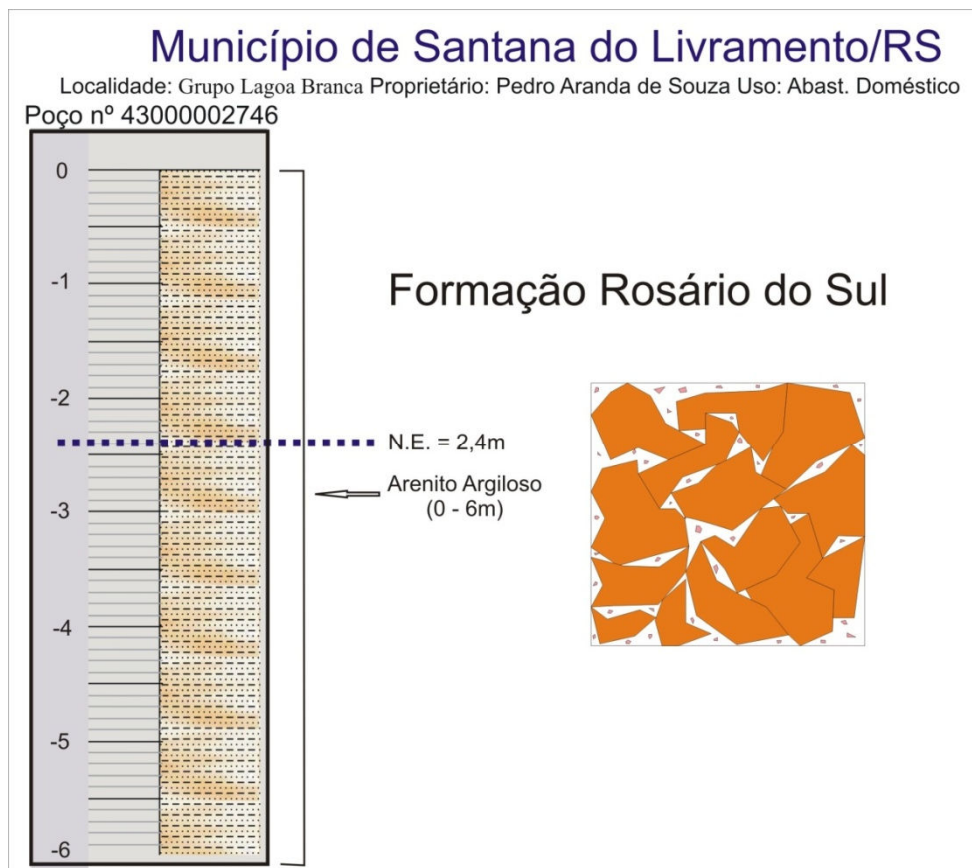


Figura 14 - Poço SIAGAS N° 4300002746, na Formação Rosário do Sul, em detalhe, arenitos argilosos.

Considerando-se o nível da água do poço SIAGAS N° 430000253, o nível estático foi de 23 metros, portanto, deve receber o valor de 0,7, uma vez que sua classe encontra-se no intervalo entre 20 a 50 metros, conforme a linha 3, que apresenta a distância existente até o lençol freático ou teto do aquífero confinado, ilustrado na Figura 7. Pode-se observar que a nota mais baixa relaciona-se a valores de nível de água superiores a 50 metros, indicando que este apresenta nota 0,6, devido ao contaminante necessitar movimentar-se por 50 metros na vertical até atingir a camada saturada ou o topo da camada aquífera no referido ponto. Assim, os poços com nível de água raso, menores do que 5 metros, recebem nota 0,9, indicando a pior condição de acordo com o método *GOD* de Foster *et al.* (2006).

Para elaboração da espacialização da vulnerabilidade, utilizou-se o programa SURFER 8.0, e, como método de interpolação matemática, a krigagem, cujo método atribui valores a espaços vazios, a partir das informações em pontos (poços) com valores calculados/determinados, obtendo-se um cartograma.

CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 - NÍVEIS E ESCALAS DE ABRANGÊNCIA PARA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

5.1.1 - O nível ou escala de abrangência global (menor do que 1:250.000)

São considerados escala global, os domínios, sub-domínios, províncias e sub-províncias, sistemas hidroestratigráficos e unidades litoestratigráficas pois eles são melhor representados em escalas macro, ou seja com grande generalização, devido suas dimensão na superfície terrestre.

O nível global aqui considerado trata, por exemplo, do conceito de Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos (CPRM, 2007) em escala de 1:2.500.000 (nível ou escala de abrangência global).

Em função das dimensões, bem como do nível de conhecimento das águas subterrâneas em uma determinada região, a partir de diferentes tipos de reservatórios rochosos.

Para definição dos comportamentos cartográficos na BHRSM, foram utilizadas como base as unidades geológicas estabelecidas originalmente por Carraro *et al.* (1974) no Mapa Geológico do Rio Grande do Sul, e posteriormente redefinidas nas contribuições de Freitas *et al.* (2004) o qual dividiu nosso Estado em Sistemas Hidrogeológicos. Outras contribuições consideradas por Machado e Freitas (2005a e b) e CPRM (2008) mapearam a geologia e hidrogeologia do Estado do Rio Grande do Sul na escala de 1:750.000.

Utilizando-se o conceito de domínios hidrogeológicos (CPRM, 2007) numa escala pequena de observação 1:2.500.000, considerou-se como nível de abrangência global das informações hidrogeológicas. Assim, foi considerada a existência de quatro grandes domínios na BHRSM, a saber:

- Domínio 1 – Formações Cenozóicas (Aquíferos intergranulares);
- Domínio 2 – Bacias Sedimentares (Aquíferos intergranulares);
- Domínio 5 – Vulcânicas (Aquífero fissural);
- Domínio 6 – Cristalino (Aquíferos fissurais).

A Figura 15 ilustra os Domínios ocorrentes na BHRSM segundo a geologia da CPRM (1986), Silveira *et al.* (2003) e Pavão (2004).

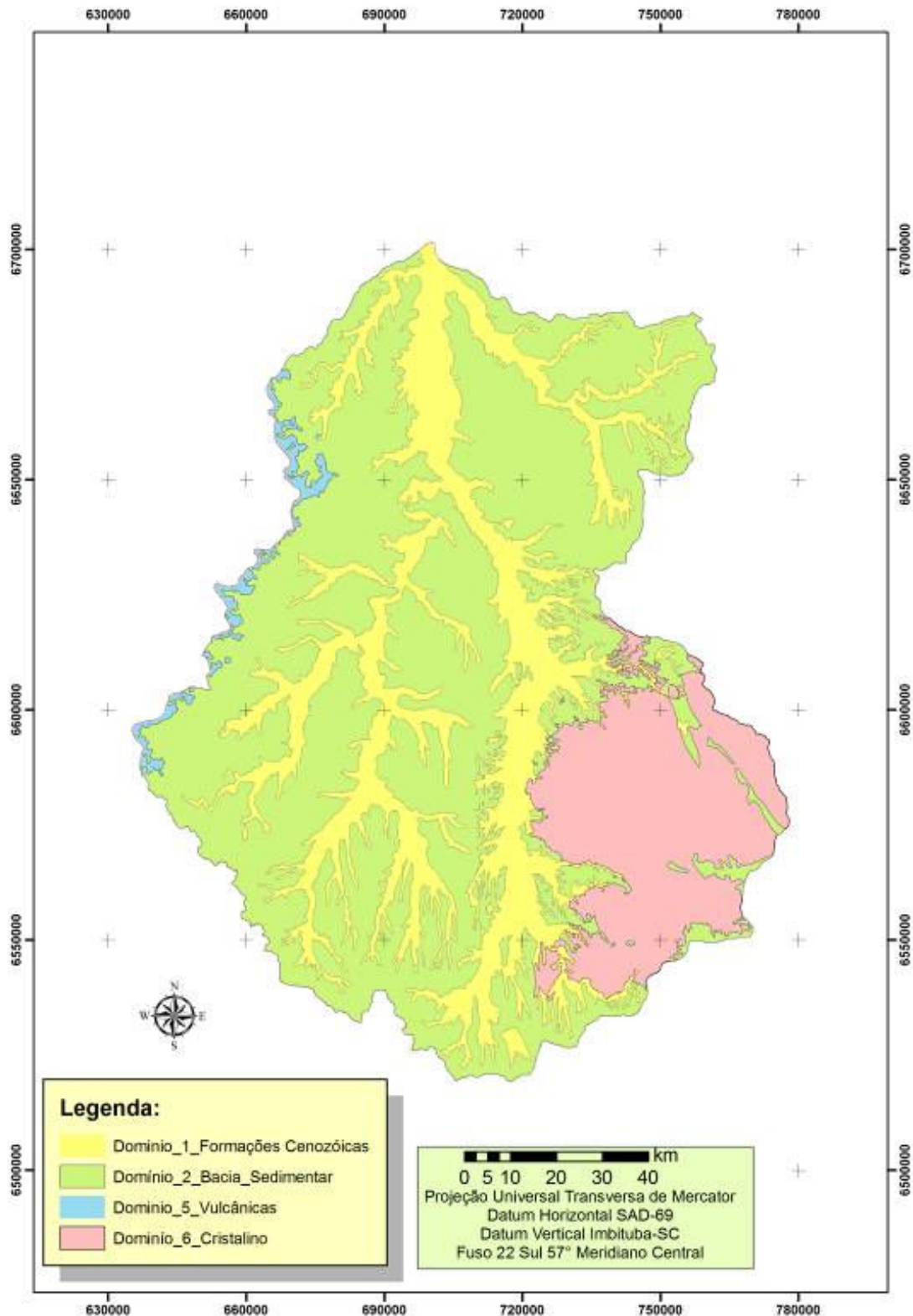


Figura 15 Mapa dos Domínios Hidrogeológicos CPRM (2007) a partir da geologia da CPRM (1986), Silveira *et al.* (2003) e Pavão (2004).

Assim, considerando-se as dezesseis Unidades Geológicas descritas por Silveira *et al.* (2003) e Pavão (2004), e os estudos geológicos e hidrogeológicos realizados por Freitas *et al.* (2004), Machado e Freitas (2005), Machado (2005) e CPRM (2008) redefiniram algumas formações geológicas/hidrogeológicas, como os arenitos da Formação Guará, separando-os da Formação Botucatu. Também Machado (2005) considerou a Formação Rosário do Sul equivalente à Formação Pirambóia, reconhecida em outros estados brasileiros como São Paulo e Paraná.

Desta forma foram considerados sete sistemas hidroestratigráficos de acordo com proposta original de Freitas *et al.* (2004) para a BHRSM, adaptado por Descovi Filho *et al.* (2008) conforme ilustração da Figura 16, pertencentes a quatro Domínios Hidrogeológicos (CPRM, 2007):

- Domínio 1 – Formações Cenozóicas (Aquíferos intergranulares), constituídas por três reservatórios geológicos: Depósitos Quaternários de/Aluviões³ + Terraços Subatuais inconsolidados + Eluvião⁴ e Coluvião⁵. Segundo Freitas *et al.* (2004), estes domínio é domínio corresponde aos Aquíferos Porosos Cenozóicos Aluvionares;
- Domínio 2 – Bacias Sedimentares (Aquíferos e Aquitardos intergranulares), neste caso pertencente à Bacia Sedimentar do Paraná com dimensões da ordem de 1.200.000 km² Araújo *et al.* (1995). Constituída na BHRSM por dez formações geológicas (Santa Tecla + Botucatu + Rosário do Sul + Rio do Rasto + Estrada Nova + Irati e Estrada Nova indivisos + Irati + Palermo + Rio Bonito + Itararé). Para Freitas *et al.* (2004) incluiriam-se (Aquitardos Permianos + Aquíferos Porosos Permianos + Aquíferos Porosos Triássicos + Aquíferos Porosos Eo-Cretáceos). Neste inclui-se o Sistema Aquífero Guarani (SAG);
- Domínio 5 – Vulcânicas (Aquíferos fissurais), constituídas pelos derrames vulcânicos de composição básica (basaltos) e ácida (granófiros, riólitos)

³ De acordo com Guerra (1997), os detritos ou sedimentos clásticos de qualquer natureza são carregados e depositados pelos rios. Este material é arrancado das margens e das vertentes, sendo levado em suspensão pelas águas dos rios que acumulam em bancos, constituindo os depósitos aluvionares.

⁴ Depósito detrítico ou simples capa de detritos resultantes da desintegração da rocha matriz permanecendo *in situ*. O termo eluvião é o oposto do material transportado pelas águas dos rios, isto é, aluvião (GUERRA, 1997).

⁵ Material transportado de um local para outro, principalmente por efeito da gravidade. O material coluvial só aparece no sopé de vertentes ou em lugares pouco afastados de declives que lhe estão acima (GUERRA, 1997).

pertencentes à Formação Serra Geral, mais especificamente as fácies Gramado⁶ e Alegrete⁷ (CPRM, 2008). Segundo Freitas *et al.* (2004) estes domínios coincidiria com os Aquíferos Fissurais Serra Geral;

- Domínio 6 – Cristalino (Aquíferos fissurais), constituído na BHRSM por duas unidades geológicas (o Pré-Cambriano e o Pré-Cambriano indiferenciado). Este domínio coincidiria com o Aquífero Fissurais do Escudo Cristalino de Freitas *et al.* (2004).

Utilizando-se o conceito de Províncias e Sub-províncias de Hausman (1995), foram obtidas três províncias para a BHRSM Pavão (2004):

I – Província Escudo

- I.1 – A sub-província Cristalina constitui-se de rochas granitóides (ígneas e metamórficas) e Aquíferos Fissurais, ocupando 2.466,650 km² da área total, ou seja, 15,62% da BHRSM;
- I.2 – A sub-província Creta-Paleozóica constitui-se de seqüência de rochas. Ocupa 41,120 km² da área total ao seja 0,26% da BHRSM.

II – Província Gondwânica

- II.1 – A sub-província Permo-Carbonífera ocupa 3.560,490 km² da área total, representando cerca de 22,54% da BHRSM;
- II.2 – A sub-província Rosário do Sul ocupa 4.924,000 km², representando 31,17% da BHRSM;
- II.3 – A sub-província Botucatu ocupa 800,410 km², equivalente a 5,07% da área da BHRSM;
- II.4 – A sub-província Aluvial ocupa 3.798,870 km², representando 24,04% da área total da BHRSM.

III – Província Basáltica

- III.1 – A sub-província Cuesta ocupa 205,360 km² representando 1,30% da área da bacia.

Assim exemplificou-se uma avaliação das unidades geológicas como reservatórios de águas subterrâneas onde estas são consideradas unidades hidroestratigráficas. Devido à ocorrência de reservatórios de diferentes arcabouços, eles são tratados ora como porosos ora

⁶ Fácies Gramado – CPRM (2008) basaltos, ígneas, vuncânicas básicas.

⁷ Fácies Alegrete – CPRM (2008) andesitos, riodacitos (ácidas).

como fissurais. Assim, são reunidas formações geológicas como características composicionais, estruturais, com semelhante composição físico-química e características hidrodinâmicas semelhantes em termos de vazão, vazão específica, transmissividade, e outros.

Também é considerada nesta escala, os sete sistemas, sendo seis aquíferos e um aquífero Figura 8:

- 1 - Aquíferos Fissurais do Escudo Cristalino – aquíferos descontínuos, relacionados a rochas ígneas e metamórficas fraturadas do Escudo Cristalino;
- 2 - Aquíferos Porosos Permianos – aquíferos contínuos intergranulares relacionados às formações areníticas Rio Bonito e ao Grupo Itararé (Formação Taciba) (CPRM, 2008);
- 3 - Aquíferos Permianos – aquíferos relacionados aos sedimentitos finos (argilitos e siltitos) das formações Palermo, Irati, e Rio do Rasto e Subgrupo Estrada Nova;
- 4 - Aquíferos Porosos Triássicos – aquíferos contínuos intergranulares relacionados às formações arenosas Rosário do Sul (= Pirambóia + Sanga do Cabral) e Santa Maria;
- 5 - Aquíferos Porosos Eo-Cretáceos – aquíferos contínuos intergranulares relacionadas às formações areníticas Guará e Botucatu;
- 6 - Aquíferos Fissurais Serra Geral – aquíferos descontínuos relacionados aos derrames de lavas básicas e ácidas da Formação Serra Geral;
- 7 - Aquíferos Porosos Cenozóicos Aluvionares – aquíferos intergranulares relacionados aos espessos depósitos aluvionares recentes.

Portanto deve-se ressaltar que a escala de abrangência depende do nível de conhecimento do(s) aquífero(s) bem como seus usos preponderantes.

Conclui-se que escala ou nível de abrangência global é o que melhor engloba os fenômenos que ocorrem em domínios, sub-domínios, províncias e sub-províncias, pois estes tem uma dinâmica que extrapola a bacia hidrográfica e pode ter inclusive dimensões continentais.

5.1.2 - O nível ou escala de abrangência regional (1:50.000 à 1:250.000)

No nível ou escala de abrangência regional, englobaria, por exemplo, elementos físicos melhor representados com escalas intermediárias, ou seja, de macro para semi-detalle. Nesta incluir-se-ia, por exemplo, a bacia hidrográfica e as seções hidrológicas de referência.

5.1.2.1 - SHR's

Inicialmente, na BHRSM, o conceito de Seção Hidrológica de Referência (SHR) foi aplicado visando-se setorizar os recursos hídricos superficiais (UFMS/SEMA, 2004). Durante a realização das simulações relativas às vazões superficiais, foram observados volumes excedentes, que poderiam estar relacionados a contribuições dos aquíferos (CRUZ e SILVÉRIO DA SILVA, n. p.). Assim busca-se ampliar os conhecimentos da interação entre ciclo hidrológicos (rio – aquífero na escala de SHR's).

O Quadro 7 apresenta a síntese das informações hidrogeológicas e litológicas dos poços pertencentes à SHR 11, com maior quantidade de informações. Já a Figura 17 ilustra espacialmente a distribuição dos 117 poços cadastrados nesta SHR até julho de 2009.

Hidrogeologia	Litologia	SHR – 11
Aquífero Fissural Serra Geral (básicas)	Fm. Serra Geral	04
Aquíferos Porosos Eo-Cretáceos	Fm. Botucatu	74
	Fm. Guará	05
Aquífero Poroso Triássico	Fm. Rosário do Sul	09
Não Informada	Não Informada	25
Total		117

Quadro 7 - Hidrogeologia e Litologia dos 117 poços inseridos nas SHR 11.

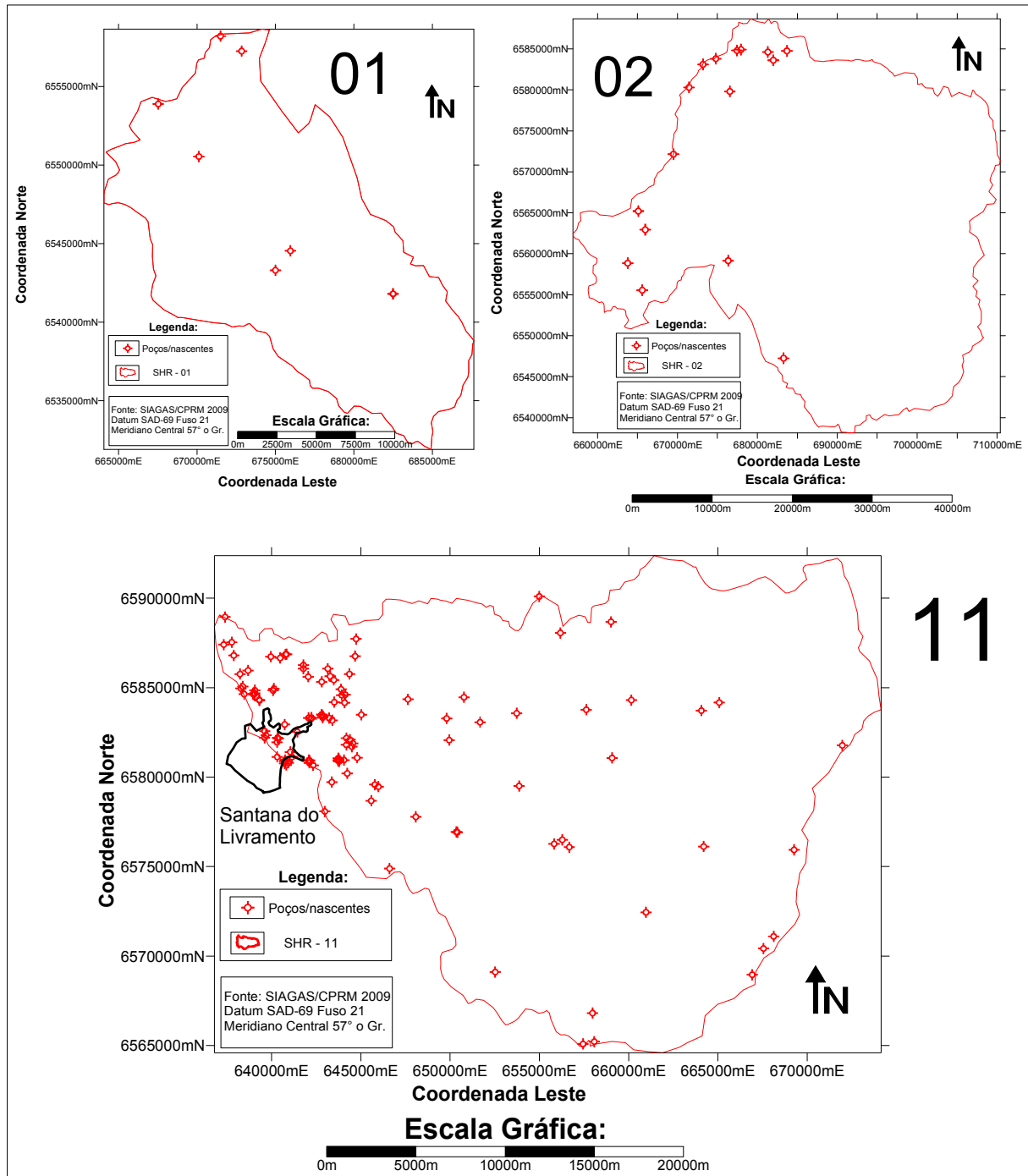


Figura 16 - Distribuição espacial dos poços existentes nas SHR's 01, 02 e 11.

Observou-se que ocorrem SHR's com baixa densidade de informações referentes a captações de águas subterrâneas, em especial a poços tubulares cadastrados. Também se observou que mesmo nas SHR's com maior quantidade de informações disponíveis ainda existem grandes setores com vazios de informações.

Percebe-se a ocorrência nas SHR 01 e 02 de grandes vazios de informações relativos às captações de águas subterrâneas (conforme a Figura 16, porção superior). Uma vez que na BHRSM as principais atividades econômicas são a pecuária extensiva e a cultura do arroz

irrigado, e uma vez que a atividade de pecuária ocorre em vastas áreas com baixo nível de ocupação populacional, logo se infere que as captações para abastecimento tanto humano quanto na dessedentação animal são em número reduzido em algumas SHR's.

Por outro lado, a cultura do arroz ocorre em terrenos de várzeas ou planícies aluviais utilizando-se de bombeamento a partir dos cursos de água e/ou açudes. Cabe salientar que os açudes também servem para o dessedentação animal (bovinos, equinos, ovinos, etc). Desta forma as captações por poços servem como abastecimento complementar, em especial nos períodos de estiagem, como por exemplo, as que ocorreram no verão (dezembro a março) de 2005/2006 e 2008/2009.

Observando-se a distribuição das captações na SHR 11, nota-se uma concentração de poços na área urbana do município de Santana do Livramento. Deve-se salientar que esta área é abastecida por reservatórios subterrâneos e, devido sua situação geográfica e topográfica desfavorável (próximo as nascente e em divisor topográfico de águas), não apresenta cursos de água com vazões expressivas para o abastecimento de uma população de cerca de 83.479 habitantes (IBGE, 2009).

Nas proximidades da área urbana tem-se o Lago Batuva Figura 17, que apresenta águas impróprias para o consumo humano devido à existência de assentamentos populacionais na suas proximidades, e ainda há deficiência na coleta e no tratamento de esgotos em seu perímetro. Desta forma, as captações por poços tubulares do Departamento de Águas e Esgoto (DAE), em número de 34, estão localizadas principalmente em área urbana. Ainda observando-se a Figura 12 referente à SHR 11, com área de 640,95 km², de acordo com o cadastro de outorgas do DRH/SEMA, existe ainda na área rural do Município de Santana do Livramento uma pequena densidade de captações por poços, onde três poços tubulares foram construídos nos Assentamentos (Torrão, São João norte e sul) do INCRA.



Figura 17 – Lago Batuva em Santana do Livramento/RS Fonte: Google Earth 2009.

Realizando-se a distribuição espacial dos poços cadastrados até julho de 2009 nas 21 SHR's da BHRSM, observou-se que as SHR's 03 e 04 não apresentaram poços cadastrados (conforme Figura 17). Ambas localizam-se no extremo sudeste da BHRSM, em terrenos da sub-Província Hidrogeológica Cristalina, onde as captações existentes devem ser preferencialmente de nascentes. Neste setor ainda não foram cadastrados os poços que por ventura existam, tanto no SIAGAS/CPRM quanto no DRH/SEMA.

Também merece ser destacado que, de acordo com estudos realizados por Machado (2005), o Aquífero Guarani ou Sistema Aquífero Guarani (SAG) encontra-se distribuído no estado do Rio Grande do Sul em dois sistemas: um aflorante e o outro confinado pelos derrames vulcânicos da Formação Serra Geral. Este sistema seria dividido segundo a existência de falhamentos geológicos em quatro blocos (deslocamento de blocos) Figura 18, o que causaria uma descontinuidade hidráulica deste mega reservatório de águas subterrâneas.

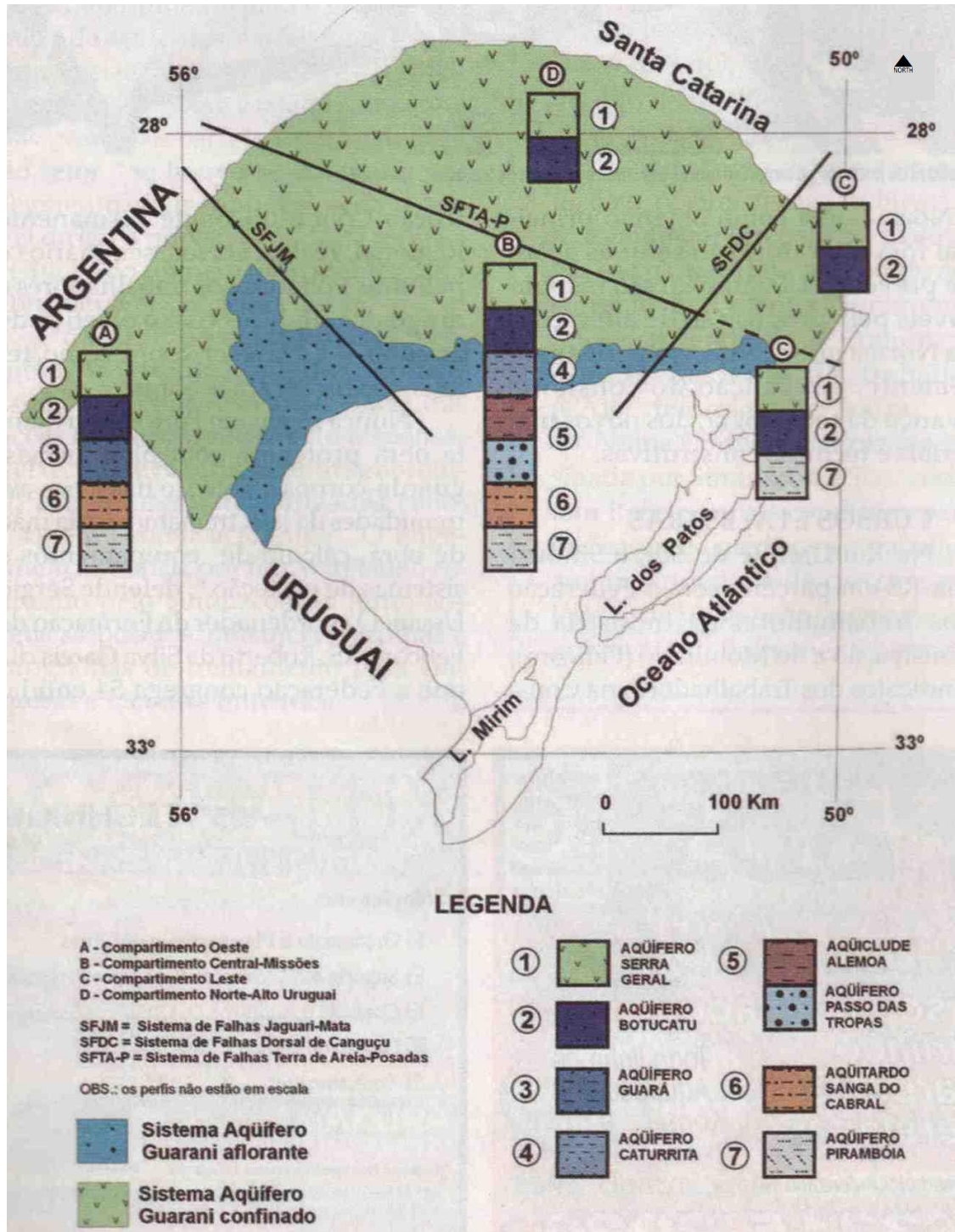


Figura 18 – Localização das discontinuidades hidráulicas nos Aquíferos Serra Geral e Guarani no Estado do Rio Grande do Sul. Adaptado de Machado, 2005.

Adaptando-se suas concepções para a BHRSM, esta apresenta tanto o SAG aflorante quanto o confinado. Esta porção da BHRSM está compreendida a oeste do Sistema de Falhas Jaguari-Mata (SFJM), de direção noroeste-sudeste. Porém, predomina o SAG aflorante com 45,66%: ou seja, 7.212,93 km² da área da bacia. Em relação a uma área de apenas 1,3% de SAG confinado, a qual representa cerca de 205,36 km² de área na BHRSM, o SAG neste setor

é constituído por um pacote diferenciado dos demais compartimentos propostos por Machado (2005) para todo estado. Na BHRSM, o SAG está composto por quatro aquíferos, a saber:

- Aquífero Guará;
- Aquífero Botucatu;
- Aquitardo Sanga do Cabral;
- Aquífero Pirambóia.

No quadro 8 se apresenta algumas das propriedades dos aquíferos ocorrentes no SAG aflorante na BHRSM, de acordo com Machado (2005).

Aquíferos/Aquitardo	Profundidade	Quantidade	Qualidade
Guará	Aflorante até 400m	Grande ⁸	Boa para o consumo humano e irrigação
Botucatu	Aflorante até 1.200m	Grande	Boa para o consumo humano e irrigação
Sanga do Cabral	Aflorante até 400m	Pequena ⁹	Boa para o consumo humano e irrigação
Pirambóia	Aflorante até 500m	Grande/Pequena	Boa para o consumo humano e irrigação e salobra

Quadro 8 - Características dos aquíferos componentes do SAG existentes na BHRSM. Adaptado de Machado (2005).

Esta metodologia não seria a adequada na situação atual de captações de águas subterrâneas para ser aplicada a todas SHR's da BHRSM, pois existem grande lacunas de informações que parcialmente podem ser recobertas, já que nem todos os poços executados recentemente estão inseridos nos cadastros realizados. Por outro lado, existem áreas que inexistem as informações de poços, uma vez que o abastecimento é realizado por captação de águas da chuva através de mangueiras plásticas, por águas superficiais e até mesmo fontes, na forma de nascentes canalizadas. Nestes locais, também a litologia existente é predominantemente constituída por granitóides, os quais constituem Aquíferos Fissurais do Escudo Cristalino (FREITAS *et al.*, 2004). Estes não favorecem a existência de águas de boa

⁸ Grande. Vazões > 30 m³/dia

⁹ Pequena. Vazões = 5 m³/dia

qualidade físico-química, sendo geralmente salobras e com elevadas concentrações em STD. Conforme salientado por Hausman (1995) este tipo de aquífero fissural apresenta um baixo potencial para captação por poços tubulares.

5.1.3 - O nível ou escala de abrangência local (maior do que 1:50.000)

No nível ou escala de abrangência local, encontra-se uma semelhança com as informações solicitadas para a outorga do uso dos recursos hídricos subterrâneos através do DRH/SEMA, as quais se apresentam nesta escala (1:50.000). Esta também é a escala das cartas topográficas do Exército brasileiro disponíveis para a maioria dos Municípios do estado do Rio Grande do Sul.

Para a realização das considerações relativas ao nível de abrangência local, foram consideradas as informações do banco de dados executado nesta pesquisa.

A partir da espacialização dessas informações, pode-se conhecer melhor os usos preponderantes das águas subterrâneas na BHRSM ilustradas no quadro 9. Entre esses usos, destacou-se o abastecimento humano com cerca de 69,0% do uso das águas subterrâneas na BHRSM.

Uso preponderante	SIAGAS	Trab. de campo	DRH	Total	(%)
Abastecimento humano	355	31	21	407	69,0
Abastecimento industrial	15	00	05	20	3,4
Dessedentação animal	01	01	00	02	0,3
Abastecimento agrícola	00	00	01	01	0,2
Lazer	06	00	00	06	1,0
Usos múltiplos	16	06	04	26	4,4
Monitoramento	00	05	00	05	0,9
Não informado	118	05	00	123	20,8
Total	511	48	31	590	100%

Quadro 9 - Número de poços por uso preponderante das águas subterrâneas na BHRSM cadastrados até julho de 2009.

As atividades turísticas e comerciais ocorrentes em Santana do Livramento e a contígua Rivera, bem como as atividades aquáticas em piscinas de lazer e esporte, demandam grandes quantidades de água potável e de qualidade. De acordo com informação verbal de Achylles Bassedas, facilitador do Projeto Aquífero Guarani, existem em Santana do Livramento cerca de sete clubes com piscinas: o Clube Santa Rita, o Clube Caixeiral, o Clube Campestre, o Clube Cruzeiro, o Clube do 7º RCMEC (Quartel), o Clube dos Sub-Tenentes e Sargentos e o Livramento Tênis Clube. Todos apresentam águas frias e a temperatura $< 25^{\circ}\text{C}$ (DNPM, 1945). Existem também dois clubes com piscinas térmicas (aquecidas), a saber: o Esporte Clube 14 de Julho e o Livramento Tênis Clube. A nenhum ainda foram outorgados os usos das águas subterrâneas pelo DRH/SEMA.

Já no Município de Dom Pedrito, registrou-se a existência de um clube com poço tubular através das informações dos processos de outorga do DRH/SEMA: ao Clube Comercial de Dom Pedrito foi outorgada uma vazão de $17\text{m}^3/\text{dia}$, para uso na irrigação de jardins e na limpeza da sede campestre. Estas águas são de fontes classificadas por frias temperaturas $< 25^{\circ}\text{C}$ (DNPM, 1945). Já as piscinas de unidades unifamiliares restringem-se ao período de verão (dezembro a março) e não se encontram cadastradas nem no SIAGAS/CPRM e nem no DRH/SEMA.

Convém comentar-se que a rede hoteleira de Santana do Livramento conta com cerca de 17 estabelecimentos, os quais realizam captações do SAG, (ECKERT e CAYE, 1995). A maioria destas captações não se encontra ainda cadastrada no SIAGAS/CPRM nem conta com outorgas do DRH/SEMA.

A Lei Municipal nº 2.659/1990 concedeu ao DAE a atribuição de perfurar, explorar, tratar e distribuir a água na área urbana do Município de Santana do Livramento. Esta autarquia já conta com 18 poços outorgados pelo DRH/SEMA até julho de 2009 dos 34 em funcionamento.

Durante os trabalhos de campo constatou-se que o poço tubular do Hipermercado Big, da cidade de Santana do Livramento, estava equipado com hidrômetro e tubo guia, conforme previsto no Decreto Estadual nº 42.047/2002. Porém deve-se salientar que a captação de água subterrânea realizada no referido estabelecimento é paga ao DAE (controlada por hidrômetro), devido à existência da concessão da referida Lei Municipal nº 2.659/1990.

Observando-se a lista de poços outorgados em Santana do Livramento disponível no sítio da SEMA, o poço tubular pertencente ao Hipermercado Big ainda não foi outorgado.

Outros municípios da BHRSM são abastecidos pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN). No Município de Cacequi, com cerca de 13.629 habitantes, a

CORSAN não apresenta poços outorgados até setembro de 2009, enquanto a Prefeitura Municipal possui autorização prévia deferida para dois poços tubulares (SEMA, 2009). Estes poços utilizaram o Sistema Aquífero Guarani como fonte do abastecimento.

No Município de Dom Pedrito, a CORSAN explorava água de dois poços, os SIAGAS n^{os} 4300002824 e 4300002825, os quais foram lacrados devido à existência de sulfatos. Isto ocorreu devido às exigências da Portaria Federal 1.469/2000, posteriormente substituída pela Portaria do Ministério da Saúde n^o 518/2004. Atualmente o abastecimento no município é realizado a partir de uma barragem de captação.

No município de Rosário do Sul, o abastecimento é de origem do Rio Santa Maria e do Rio Ibicuí da Armada.

A partir do exposto no quadro 9, pode-se concluir que a BHRSM utiliza-se dos seus aquíferos predominantemente para abastecimento humano. Já as águas superficiais são predominantemente utilizadas na agricultura, para a irrigação das lavouras orizícolas, atividade típica da região sudoeste do estado do Rio Grande do Sul juntamente com a pecuária extensiva.

5.2 - COTA POTENCIOMÉTRICA X SEÇÕES HIDROLÓGICAS DE REFERÊNCIA (SHR'S)

Buscando-se identificar as principais tendências dos fluxos subterrâneos nas (SHR's) utilizaram-se as informações referentes à hidráulica subterrânea (aqui representada pela variável cota potenciométrica). Estas espacializações foram elaboradas a partir do cadastro de 322 poços, os quais foram separados pelas áreas ocorrentes de cada SHR, podendo-se visualizar a existência de expressivas áreas com vazios de informações. Salienta-se que inclusive, não houve nenhum registro de poços com cota potenciométrica interpolada nas SHR's 03 e 04, localizadas na divisa dos municípios de Dom Pedrito e Bagé. Nesta porção se situam as nascentes de montante do Rio Santa Maria, em sua margem direita, junto ao divisor da bacia hidrográfica em análise. Por outro lado, uma vez que o terreno constituído por Neossolos Litólicos, rasos, não desenvolvidos, onde não ocorrem cultivos econômicos de grande expressão, as terras são utilizadas geralmente para criação de gado extensivo e/ou com pastagens.

Nas SHR's 03 e 04 localizadas ao sudeste (conforme Figura 19), associou-se ao conceito de Sub-Província Hidrogeológica (HAUSMAN, 1995), nota-se a inexistência de

informações de poços tubulares. Este fato pode ser explicado pela litologia presente nestes locais, com aproximadamente 70% da área total pertencente ao Escudo Cristalino, o qual apresenta aquíferos pouco produtivos. O Escudo Cristalino forma aquíferos do tipo Aquífero Fissurais do Escudo Cristalino (FREITAS *et al.*, 2004), e que tem uma capacidade específica em média muito baixa de acordo com Machado (2005). Assim, estima-se que as captações nestas SHR's sejam por poços rasos e/ou de nascentes.

Uma vez que o sistema hidrogeológico predominante nas SHR's 03 e 04 são os Aquíferos Fissurais do Escudo Cristalino (de acordo com os mapas da CPRM, 1986 e 2008), as captações nestas SHR's não ocorrem por poços tubulares devido à baixa vazão neste tipo de aquífero. Estas podem ocorrer por canalizações de nascentes com mangueiras plásticas ou mesmo de poços escavados de grande diâmetro não outorgados pelo DRH/SEMA. Portanto, essas captações se enquadram na condição de abastecimento unifamiliar, apresentando um consumo inferior a 2.000 litros/dia¹⁰.

¹⁰ Decreto Estadual 42.047/2002 Art.19 alinea 1: "São dispensadas da outorga 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."

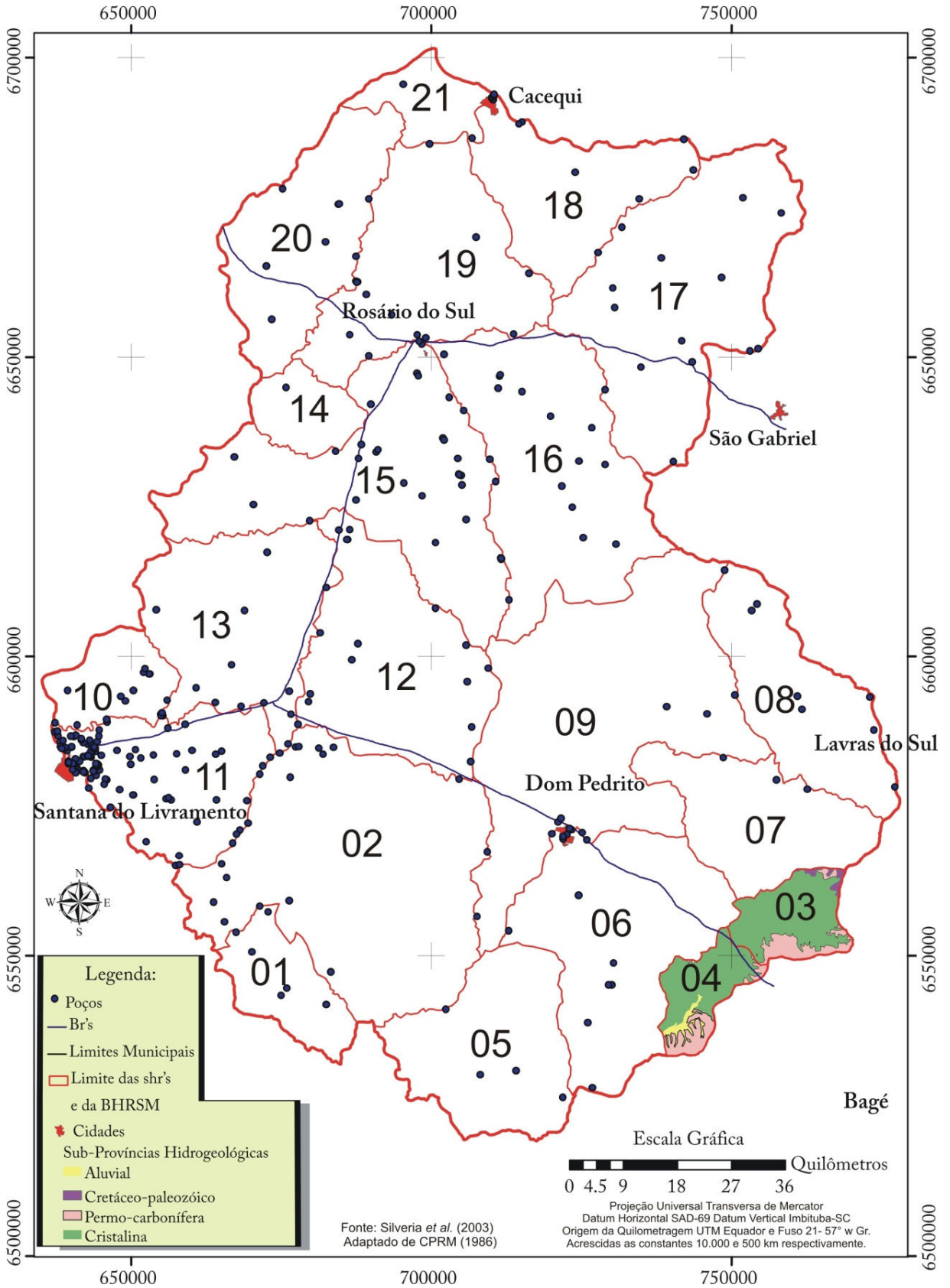


Figura 19 - Vazios de informação de poços, destacam-se as Sub-Provínias Hidrogeológicas pertencentes às SHR's 03 e 04.

A seguir serão detalhadas as espacializações das informações dos poços relativas à sua cota potenciométrica, utilizando-se o programa SURFER 8.0 e o interpolador matemático Krigagem.

Executou-se a espacialização em nível e/ou escala global, ou seja, para toda a área da BHRSM, além de espacializar-se a SHR 11. As demais SHR's, por haverem poucas e/ou inexistentes informações referentes aos níveis da água e, portanto da cota potenciométrica, não foram espacializadas.

Na espacialização da BHRSM executou-se a sobreposição de *shape* da rede hidrográfica com os vetores de fluxo subterrâneo orientados perpendicularmente as linhas equipotenciais Heath (1983).

Observou-se na Figura 20 uma tendência geral de contribuição dos aquíferos para a perenização dos principais rios e cursos de água pertencentes à BHRSM. Essa observação indica que os principais rios da bacia encontram-se na condição efluentes, conforme Cleary (1989); isto é, recebem água de contribuição dos reservatórios subterrâneos. Portanto as águas subterrâneas contribuem para manter a vazão de escoamento natural (VEN), conceito utilizado por Costa (2009) para a bacia do Baixo Curso do rio Paraíba, no estado da Paraíba. Também contribuem para a vazão de base nos rios da BHRSM como um todo. Observa-se que existem contribuições dos Aquíferos e/ou Sistemas Aquíferos para os rios Saicã, Santa Maria, Cacequi, Ibicuí da Armada, todos pertencentes à rede hidrográfica da Bacia U – 70 do Rio Santa Maria. Esta pertencente à Região Hidrográfica do Rio Uruguai (U). Esta contribuição parece ocorrer em ampla maioria da área desta bacia conforme já havia sido constatado por Wandscheer *et al.* (2004).

Também se deve salientar que estudos prévios de balanço hídrico realizados nas SHR's da BHRSM por Silveira *et al.* (2003), indicaram a existência de vazões excedentes. Estas vazões poderiam estar relacionadas à contribuição dos aquíferos e/ou sistemas aquíferos em suas áreas de descarga. Silvério da Silva *et al.* (2006) já haviam identificado a ocorrência de surgências do SAG na SRH 11 em nascentes localizadas no Cerro do Registro, em Santana do Livramento (ANEXO A).

Estudos futuros a serem realizados na BHRSM relativos às contribuições por nascentes poderão comprovar a hipótese de trabalho de surgências, contribuindo para o fluxo de base dos cursos de água nas SHR's.

A Figura 20 ilustra o mapa da cota potenciométrica e os vetores indicativos das tendências de fluxo subterrâneos na BHRSM.

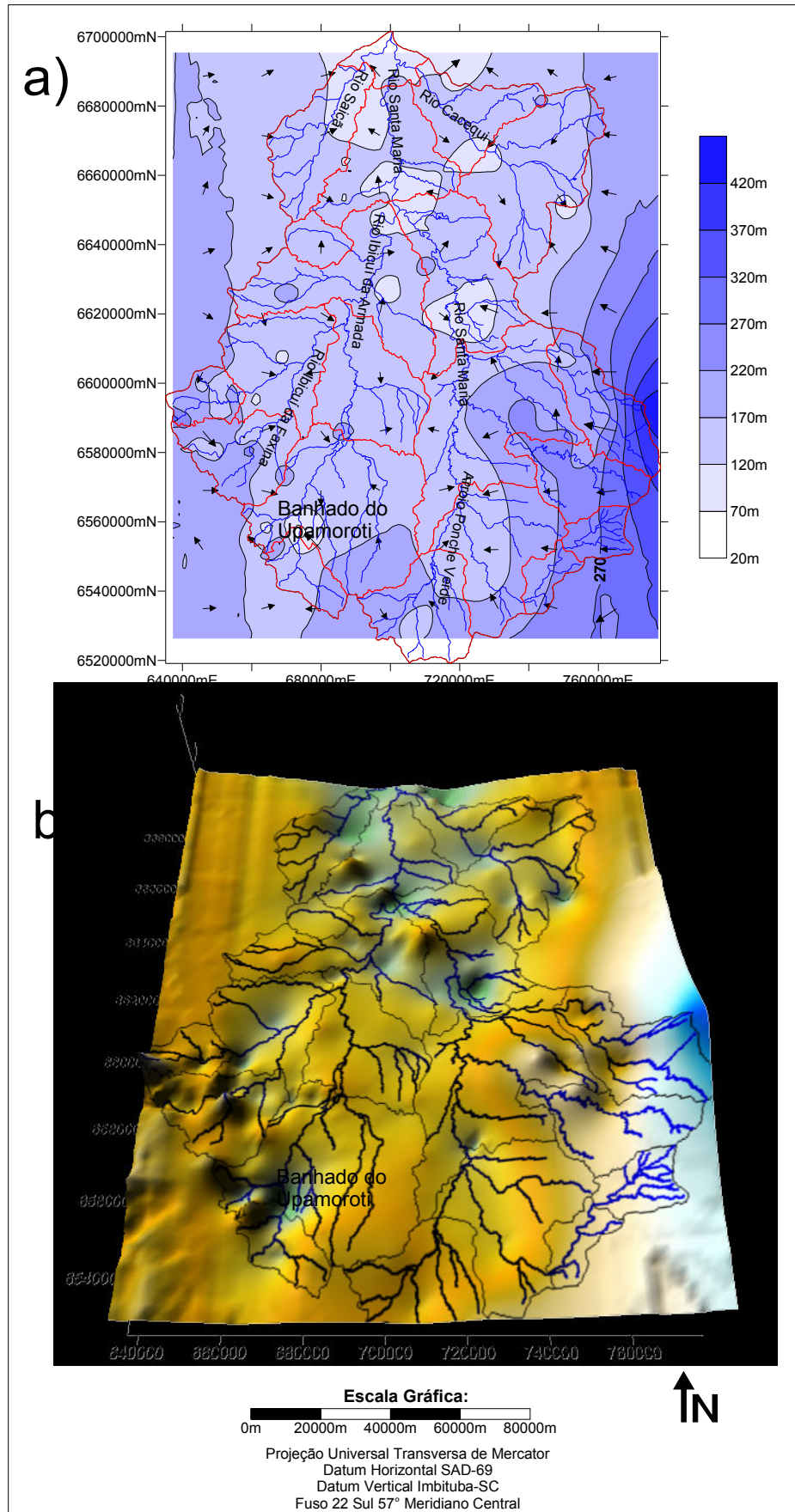


Figura 20 - (a) Mapa da cota potenciométrica e vetores de fluxo subterrâneos; (b) superfície em terceira dimensão para os 322 poços simulados na BHRSM.

Este mapa mostra, em relação ao nível do mar (Datum Vertical Porto de Imbituba – SC), a altura esperada (nível da água) da elevação da água dos aquíferos pertencentes aos Domínios (1, 2, 5 e 6) que ocorreram na BHRSM.

A partir da espacialização dos mapas de vetores dos fluxos subterrâneos, percebeu-se um indicativo da contribuição dos reservatórios para os principais rios da BHRSM., bem como se percebeu uma predominância dos fluxos de direção sul-norte. Esta tendência acompanha o caimento da superfície dos terrenos e ainda coincide com o sentido do mergulho das camadas sedimentares em direção ao centro da Bacia do Paraná. Esta observação coincide nesta porção do Aquífero Juro-Triássico com a direção do caimento das cotas potenciométricas (ARAÚJO *et al.*,1995).

Observando-se a Figura 22, nota-se a existência de um baixo potenciométrico nas proximidades do Rio Upamoroti e do Banhado Upamoroti. Nesta porção ocorreram afloramentos de rochas sedimentares predominantemente da Formação Rosário do Sul e secundariamente dos Aluviões Cenozóicos. A área do Banhado Upamoroti localizam-se em sua maior parte na SHR 01 e ainda em parte da SHR 02.

Outros baixos potenciométricos ocorrem no leito do Rio Santa Maria, visualizados na Figura 16 (a e b), na porção central do mapa coincidindo o baixo potenciométrico de maior dimensão com o setor de jusante do Rio Saicã até seu exutório no Rio Santa Maria. Também ocorre no ponto de encontro entre os rios Cacequi e Santa Maria ao norte da figura 16.

Notou-se a existência de um alto potenciométrico na localidade de Lagoa da Meia Lua, situada no Município de Lavras do Sul, em terrenos pertencentes ao Escudo Cristalino na porção leste dos mapas Figura 16 (a e b), situado em cotas potenciométricas superiores a 420 metros. Salienta-se que nesta localidade encontra-se situado o tríplice divisor de águas da BHRSM (com coordenadas UTM E = 773224 e UTM N = 6593858) subdividindo-se as três Regiões Hidrográficas existentes no Estado do Rio Grande do Sul, de acordo com o mapa elaborado por SEMA/DRH (2004):

- Região Hidrográfica do Litoral (L), que banha seus rios em direção ao Litoral Rio-grandense e Laguna dos Patos. É representado neste tríplice divisor pelo Arroio da Tuna, pertencente à Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã, denominada (L-30) de acordo com SEMA (2004);
- Região Hidrográfica do Guaíba (G), que banha suas águas para o Lago Guaíba. E neste tríplice divisor encontra-se representado pelas nascentes do Rio Vacacaí,

pertencente à Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí e Vacacaí-mirim, denominada (G-60). O Rio Vacacaí se encontra encaixado em falha tectônica de direção nordeste em terrenos constituídos por rochas duras cristalinas do Escudo Uruguaio Sul Rio-Grandense Carraro *et al.* (1974); e ainda,

- Região Hidrográfica do Rio Uruguai (U), que verte suas drenagens para o rio de mesmo nome. Está representada neste tríplice divisor pelas nascentes do Arroio Salsinho, afluente da margem direita do Arroio Jaguari, que por sua vez é afluente da margem direita do Rio Santa Maria e pertence à bacia homônima, denominada (U-70) por SEMA (2004).

Convém ressaltar que este tríplice divisor localiza-se em terrenos rochosos cujas cotas altimétricas são superiores a 400 metros, considerados geológica e geomorfologicamente pertencentes ao Escudo Cristalino Uruguaio-Sul-Riograndense, o qual encontra-se associado a porções topograficamente mais elevadas na BHRSM. Nessa região ocorrem os Aquíferos Fissurais do Escudo Cristalino (FREITAS *et al.*, 2004). Porém ocorre uma particularidade com relação à geologia do tríplice divisor. Os terrenos deste tríplice divisor são compostos por rochas sedimentares da Formação Santa Tecla, as quais constituem um Aquífero Poroso Eo-Cretáceo, de importância local. Em relação aos vetores de direção de fluxos subterrâneos deste setor da área estudada, eles encontram-se direcionados de leste para oeste, para o interior da BHRSM.

Considerando-se a bacia como um todo, também se percebe a ocorrência de fluxos de direção sul-norte, leste-oeste e sudeste-noroeste em direção ao exutório do Rio Santa Maria, e coincidindo também com o Rio Cacequi, sendo que ambos apresentam drenagens que contribuem para o Rio Ibicuí e deste para o Rio Uruguai (SEMA, 2004).

No extremo sul da BHRSM, próximo a localidade de Ponche Verde, ocorre um fluxo de direção norte-sul, no sentido das nascentes do Arroio Ponche Verde, contribuindo para a perenização deste curso de água. Este arroio apresenta grande importância para a agricultura no Município de Dom Pedrito, especialmente para orizicultura, uma vez que ele constitui uma importante fonte de água para irrigação das lavouras. Os terrenos são de composição silto-argilosa e formam Planossolos os quais são altamente produtivos e geram excelentes safras de arroz.

No município de São Gabriel localiza-se mais um baixo potenciométrico, onde a direção de fluxo subterrâneo predominantemente é de sul-norte, situado na SHR 16. Este

baixo potenciométrico coincide com o local onde se encontra o poço SIAGAS n° 4300017793. Este apresentava 70 metros de cota do terreno conforme SIAGAS (2009), divergindo das informações encontradas no programa *Google Earth* (2009) e nas imagens de altitude do TOPODATA (2009), as quais apontam valores respectivamente de 137 e 133 metros como cota do terreno para o referido poço. Essa constatação alterou o valor da cota potenciométrica e a configuração da tendência de fluxos subterrâneos em nível de abrangência regional. Nesta simulação utilizou-se a informação do TOPODATA (2009). Portanto, constatou-se a existência de algumas inconsistências no cadastro do SIAGAS/CPRM. Alguns pontos na BHRSM foram visitados e outros não, devido as suas dimensões durante a realização desta pesquisa.

Já na sede municipal de Dom Pedrito, a direção do fluxo subterrâneo foi de sudeste-noroeste no setor limite entre as SHR's 06 e 09, localizado no sudoeste da carta topográfica 1:50.000 de Dom Pedrito.

Deve-se salientar que os baixos potenciométricos geralmente coincidem com surgências de água subterrâneas na forma de fontes/nascentes distribuídas nas áreas deprimidas do terreno onde ocorrem os depósitos de Planícies Aluviais, portanto associados ao Domínio 1 (CPRM, 2007).

Também estão sendo considerados os poços SIAGAS n° 4300001561 (SHR 16) e n° 4300001562 (SHR 08) como nascentes. Eles ocorrem em arenitos pertencente à Formação Rio Bonito, que constitui um Aquífero Poroso Permiano (FREITAS *et al.*, 2004) e ao Domínio 1 (CPRM, 2007). Enquanto que no poço SIAGAS n° 4300001563 (SHR 08), localizado próximo à Coxilha do Batovi, há uma surgência ocorrente nos folhelhos da Formação Palermo, a qual constitui um Aquitardo Permiano (FREITAS *et al.*, 2004) ao Domínio 1 (CPRM, 2007). Estas três surgências de água subterrânea ocorrem no Município de São Gabriel. Constatou-se ainda uma surgência em Aquíferos Porosos Triássicos, localizados na Formação Rosário do Sul, Domínio 2 (CPRM, 2007), no município de Rosário do Sul, representado pelo poço SIAGAS n° 4300001284 (SHR – 19) situado nas cabeceiras da Sanga da Areia, afluente da margem direita do Rio Santa Maria.

Ainda observou-se nascentes ou surgências associadas principalmente aos Aquíferos Fissurais do Escudo Cristalino (FREITAS *et al.*, 2004) associadas ao Domínio 6 (CPRM, 2007), constatadas em trabalho de campo realizado em Lavras do Sul (poço n° 226 e poço n° 229 do banco de dados hidrogelógicos ANEXO A) localizados na SHR – 08.

5.2.1 - Zona vadosa

A Figura 21 representa a zona vadosa da BHRSM, esta zona também pode ser chamada de zona aerada e edáfica, ela representa a camada de ar existente entre a superfície terrestre e a zona saturada por água. Na BHRSM ela demonstra-se bem heterogêneamente distribuída com espessuras variáveis tanto em aquíferos livres e confinados.

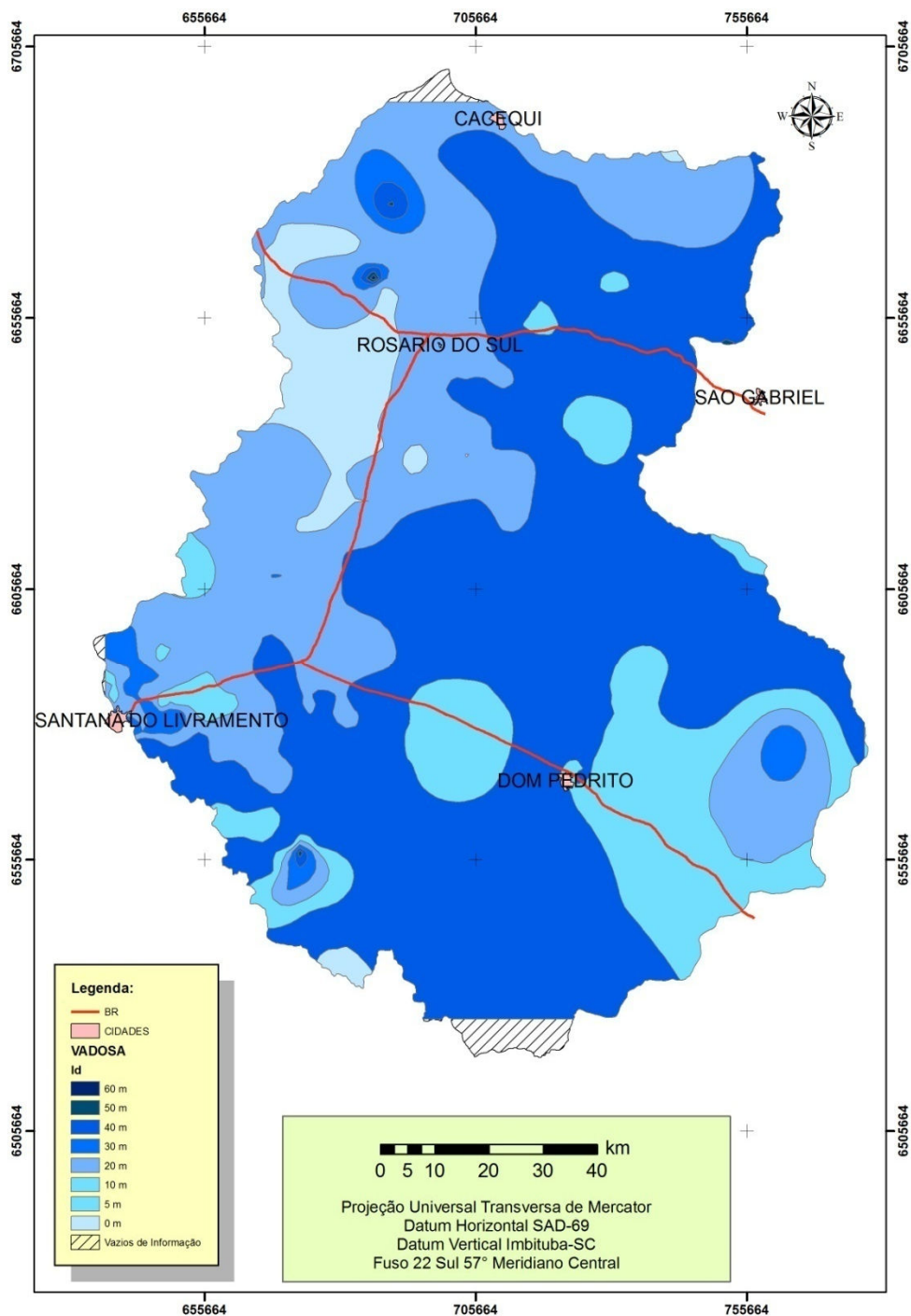


Figura 21 – Mapa da zona vadosa da BHRSM.

5.2.2 - SHR11

A Seção Hidrológica de Referência SHR 11 apresentou a maior densidade de poços e/ou nascentes cadastrados, totalizando cerca de 117. Destes, muitos são utilizados para o abastecimento humano na cidade de Santana do Livramento. Esta cidade é abastecida pelo Departamento de Águas e Esgotos (DAE). O DAE conta com 34 poços tubulares na área urbana e abastece uma população de cerca de 83.479 habitantes (IBGE, 2009). Informa-se que toda a água para abastecimento humano desta cidade é originária de captações subterrâneas a partir do reservatório subterrâneo constituído pelo SAG e associado nesta pesquisa aos Aquíferos Porosos Triássicos e Aquíferos Porosos Eo-Cretáceos (FREITAS *et al.*, 2004), ambos associados ao Domínio 2 (CPRM, 2007).

A Figura 22 ilustra a espacialização da cota potenciométrica dos 117 poços e/ou nascentes localizados na SHR 11, onde está compreendida a área urbana de Santana do Livramento, ponto de maior densidade populacional da BHRSM. Que conta com a fronteira seca junto ao Departamento de Rivera no Uruguai, onde há uma grande rede hoteleira a qual apresenta grande fluxo de pessoas devido a existência de *freeshop* onde a busca por mercadorias é intensa. A cidade de Santana do Livramento conta com uma rede hoteleira com cerca de 17 estabelecimentos devido ao intenso fluxo de turistas (ECKERT e CAYE, 1995).

Observa-se nessa figura a formação de um alto potenciométrico no extremo noroeste, associado ao poço SIAGAS n° 4300001216. Este penetrou os derrames vulcânicos da Formação Serra Geral, considerado livre nesta captação. Esta possui um nível estático de 0,1 metros (praticamente aflorante). Pertencente ao Aquífero Fissural Serra Geral (FREITAS *et al.*, 2004), associados ao Domínio 5 (CPRM, 2007), considera-se o nível de abrangência local de Costa (2009).

Observando-se a direção dos vetores, nota-se que o sentido do fluxo subterrâneo é de sudeste-noroeste predominantemente.

Notou-se que próximo da área urbana ocorre um baixo potenciométrico com direções de fluxo sul-norte, sudeste-noroeste e noroeste-sudeste. Também ocorre a formação de um baixo potenciométrico no setor sudeste-nordeste, indicando uma contribuição do SAG para as nascentes dos Arroios Florentina, do Salso e Ibicuí da Faxina. Observa-se nesta simulação a existência de poucos vazios de informações relativos ao nível da água obtidos em poços com cadastro no SIAGAS/CPRM e DRH/SEMA, obtendo-se dessa forma uma sobreposição quase completa da SHR com as informações de tendência da cota potenciométrica e do fluxo das

águas subterrâneas. Isso está demonstrado através da sobreposição do mapa simulado para a SHR 11 (conforme Figura 22).

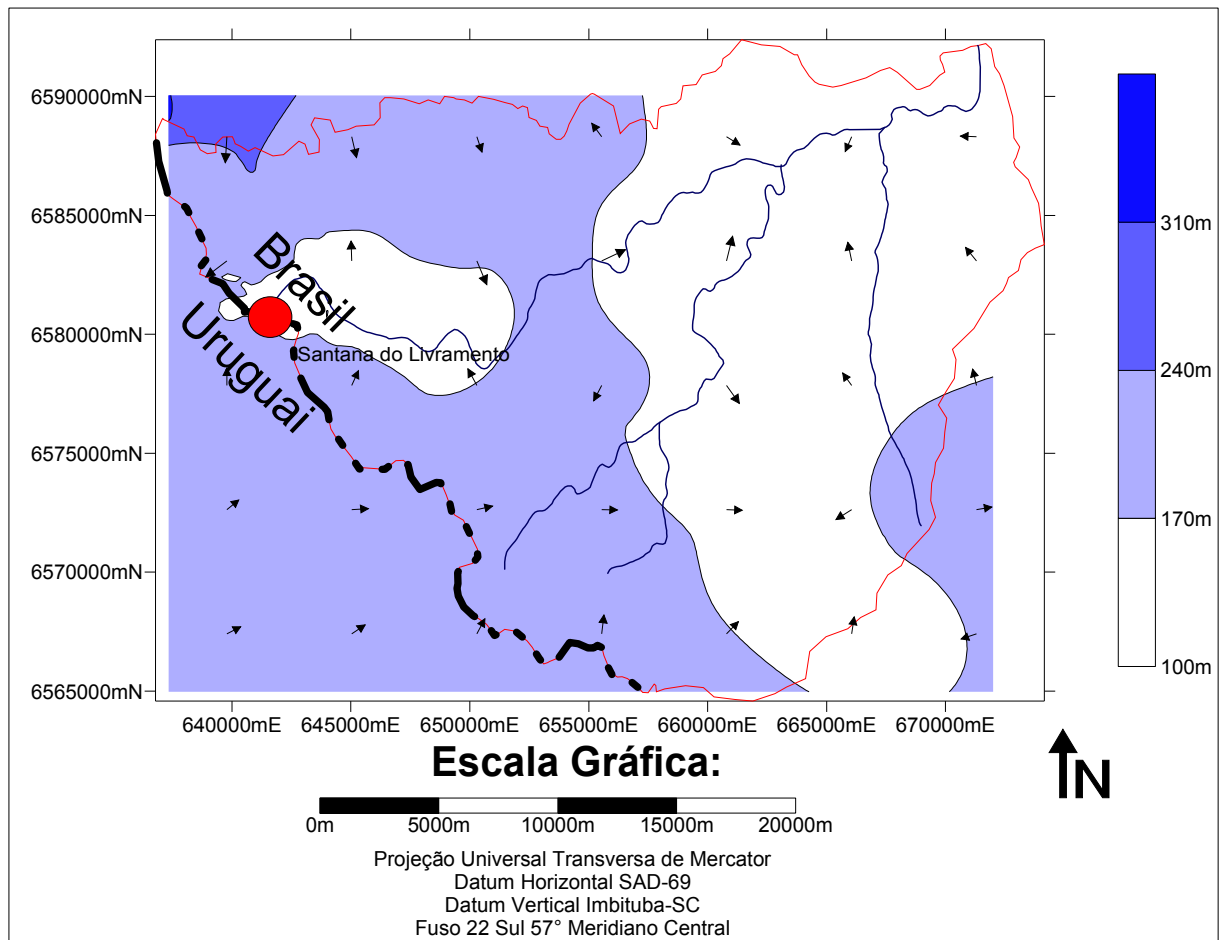


Figura 22 - Mapa da cota potenciométrica na SHR 11, a partir de 117 informações de nível da água de poços e/ou nascentes. Fonte: SIAGAS/CPRM e DRH/SEMA, em agosto de 2009.

A partir da Figura 22, nota-se que os vetores dos fluxos das águas subterrâneas apresentam uma tendência transfronteiriça dos aquíferos na SHR 11, uma vez que a mesma recebe e transmite água. Configura-se, portanto, nesta porção da BHRSM, aquíferos transfronteiriços, no qual estudos futuros que incluam os poços do Departamento de Rivera poderão contribuir para confirmar essa hipótese de trabalho. Assim, através da abordagem desse estudo, discorda-se da ideia de Machado (2005), que concluiu que o SAG não seja transfronteiriço no Estado do Rio Grande do Sul.

Na porção sudeste do mapa, observou-se uma direção predominante de fluxos do lado uruguaio para o lado brasileiro, e no extremo noroeste um fluxo em direção oposta. Desta forma também pode ocorrer a transferência de NO_3^- associado ao fluxo subterrâneo, oriundo dos esgotos não tratados na cidade de Riveira/UY para o lado brasileiro em Santana do Livramento e/ou vice-versa. Ambas as cidades de fronteira ainda apresentam baixas taxas de coleta e tratamento dos esgotos produzidos, cerca de 30 a 40% (PSAG, 2009). Acrescenta-se a

isso que os poços tubulares da cidade de Rivera apresentam níveis de água mais rasos, apresentando assim um alto risco de contaminação, tendo sido vários deles lacrados devido à concentração de nitratos (PÉREZ e ROCHA, 2002).

As demais SHR's presentes na BHRSM – excetuando-se a SHR 11 – apresentam um grande vazio de informações de níveis de água subterrânea e, portanto, na simulação da cota potenciométrica. Isso se deve basicamente a fatores tais como:

- Hidrogeologia (uma vez que boa parte da BHRSM não apresenta rochas reservatórios e/ou aquíferos com qualidade própria para o consumo humano e/ou quantidade de água para instalação e exploração de água subterrânea para suprir grandes comunidade humanas. Ex.: Aquitardos Permianos representados pelas formações Palermo, Irati, Estrada Nova e Rio do Rasto (FREITAS *et al.*, 2004; DESCOVI FILHO *et al.*, 2008), associadas ao Domínio 2 (CPRM, 2007);
- Inexistência de tubos guias na instalação do poço (problema de caráter técnico construtivo que foi fator limitante na aquisição de níveis da água em poços tubulares em vários poços da BHRSM), e poços não outorgados pelo DRH/SEMA, por estarem fora das normas construtivas das ABNT's, n^{os} 12.212/2006 e 12.24/2006 e PSAG (2007);
- Cadastro deficitário (os poços mais recentes foram parcialmente e/ou não inventariados no SIAGAS e/ou não outorgados pelo DRH/SEMA).

Assim conclui-se que este cruzamento das informações relativas as cotas potenciométricas associada por SHR's ainda apresenta grandes áreas com vazios de informações de poços. Além de haver SHR's que não apresentam poços cadastrados o que impossibilita a simulação da cota potenciométrica ou atribui incertezas na interpolação matemática.

Sugere-se que este tipo de cruzamento entre cota potenciométrica e SHR's seja executado no futuro com ampliação das informações existentes do cadastro de poços e/ou nascentes bem como de outorgas do DRH/SEMA.

Uma das vantagens do uso de banco de dados e de especializações usando programas como o SURFER 8.0 e o ArcGIS 9.3 é que os bancos de dados podem ser atualizados periodicamente.

5.3 - ESTUDO HIDROGEOLÓGICO E SIMULAÇÕES DOS STD NA BHRSM (NÍVEL OU ESCALA DE ABRANGÊNCIA REGIONAL)

De acordo com o ANEXO B, Descovi Filho *et al.* (2008) avaliaram as concentrações de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) nas águas subterrâneas da BHRSM a partir de informações referentes a 339 poços e/ou nascentes dentro e fora da bacia. Esses autores propuseram, com base nos trabalhos de Freitas *et al.* (2004), uma simplificação reunindo as unidades hidroestatigráficas originalmente definidas por Hausman (1995) em Províncias e sub-Províncias. Também eles se propuseram a realizar uma primeira avaliação a partir dos resultados de concentrações de STD, buscando adequar a Resolução do CONAMA n° 396/2008 para BHRSM e entornos. Os dados referentes a esta primeira avaliação e espacialização podem ser visualizados no (ANEXO B).

Nesta avaliação observou-se uma ampla predominância na BHRSM de águas doces enquadradas na classe 1, ou seja, com $STD < 1.000.000 \mu\text{g.L}^{-1}$. Observou-se pequenas ocorrências pontuais de águas salobras que poderiam enquadrar-se na classe 2 $> 1.000.000 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Resolução do CONAMA n° 396/2008).

Na segunda espacialização dos valores de concentrações dos STD na BHRSM, utilizou-se 273 poços tubulares, escavados e nascentes, sendo 38 destas obtidas por trabalhos de campo, em locais com vazios de informações. Cerca de 204 foram obtidos através de levantamento no SIAGAS/CPRM e 12 através das avaliações dos processos de outorga junto ao DRH/SEMA até julho de 2009. Enfatiza-se que o número de poços e/ou nascentes decresceu de 339 poços espacializados na primeira tentativa de enquadramento para 254 poços na segunda espacialização. Isso se deve ao fato de que na segunda espacialização optou-se como delimitação a BHRSM e, portanto, foram considerados somente os poços e/ou nascentes localizados dentro da mesma. Na primeira simulação realizada também se considerou poços localizados fora da BHRSM.

Destaca-se que a quantidade de informação dentro da bacia aumentou relativamente, após realizarem-se campanhas e 38 medições em campo, bem como ficaram espacialmente melhor distribuídas devido aos trabalhos de campo. Estes trabalhos buscaram recobrir as regiões com vazios de informações nos cadastros existentes SIAGAS/CPRM e DRH/SEMA. Salienta-se que em boa parte do sudeste da BHRSM, mais especificamente nos municípios de Dom Pedrito e Lavras do Sul, o vazio de informações era expressivo; porém constatou-se a inexistência de captações por poços e/ou nascentes. Nesta região conhecida como Serrilhada,

a população se utiliza de uma forma alternativa para suprimento de água, ou seja, através da captação de água da chuva, uma vez que o poço tubular estava desativado devido a problemas com a bomba submersa, em abril de 2009. Na região mais rochosa do cristalino, como por exemplo, próximo a localidade de Meia Lua, interior do Município de Lavras do Sul, utiliza-se de nascentes e captações de águas subterrâneas através de canalizações em mangueiras plásticas.

Essas áreas situaram os maiores vazios de dados referentes às concentrações de STD, por não possuírem aquíferos, ou haver aquíferos de má qualidade (elevadas concentrações de STD), e/ou pouca vazão (Aquíferos Fissurais do Escudo Cristalino apresentam pequena capacidade específica), o que inviabiliza a sua utilização até mesmo para fins menos nobres (HAUSMAN, 1995).

Na segunda simulação de STD na BHRSM, espacializou-se, com o auxílio do programa SURFER 8.0, as concentrações de STD para cerca de 273 poços e/ou nascentes inseridos nessa bacia. Desses poços e/ou nascentes, 204 poços foram obtidos do cadastro do SIAGAS/CPRM, até julho de 2009; 31 poços tubulares obtidos através do levantamento realizado nos processos de outorga, até julho, e 38 poços obtidos através dos trabalhos de campo realizados em maio de 2009.

Enfatiza-se que o número de poços e/ou nascentes decresceu de 339 poços e/ou nascentes simulados, na primeira simulação, para 273 poços e/ou nascentes na segunda simulação. Isso foi decorrente, porque se passou a considerar somente os poços e/ou nascentes localizados dentro do limite da BHRSM.

Constatou-se ainda uma ampla predominância da classe 1 Figura 23 . Observa-se em segundo plano a existência de quatro pontos de pouca expressividade, bem como dois pontos inexpressivos, que não podem ser observados nesta escala de análise na figura. Estes apresentam concentrações de STD acima de $1.000.000 \mu\text{g.L}^{-1}$, o que conforme a Resolução do CONAMA nº 396/2008 pode ser enquadrado como classe 2. Assim, devido à alta salinidade existente nestas águas, as mesmas apresentam-se impróprias para o consumo humano. Estas poderiam ser utilizadas para usos múltiplos e até mesmo para dessedentação animal.

Observa-se que, na segunda espacialização representada pela Figura 23, há um acréscimo na ocorrência de área apresenta concentrações de STD na classe 2 da legislação (Resolução do CONAMA nº 396/2008) em comparação com a figuras 3 do ANEXO B. Este registro de quantidades anômalas de STD ocorreu mais especificamente no setor sudoeste do Município de Dom Pedrito, junto à fronteira com a República do Uruguai, bem como em duas

áreas não observáveis na escala do mapa situadas nos Municípios de Dom Pedrito e São Gabriel.

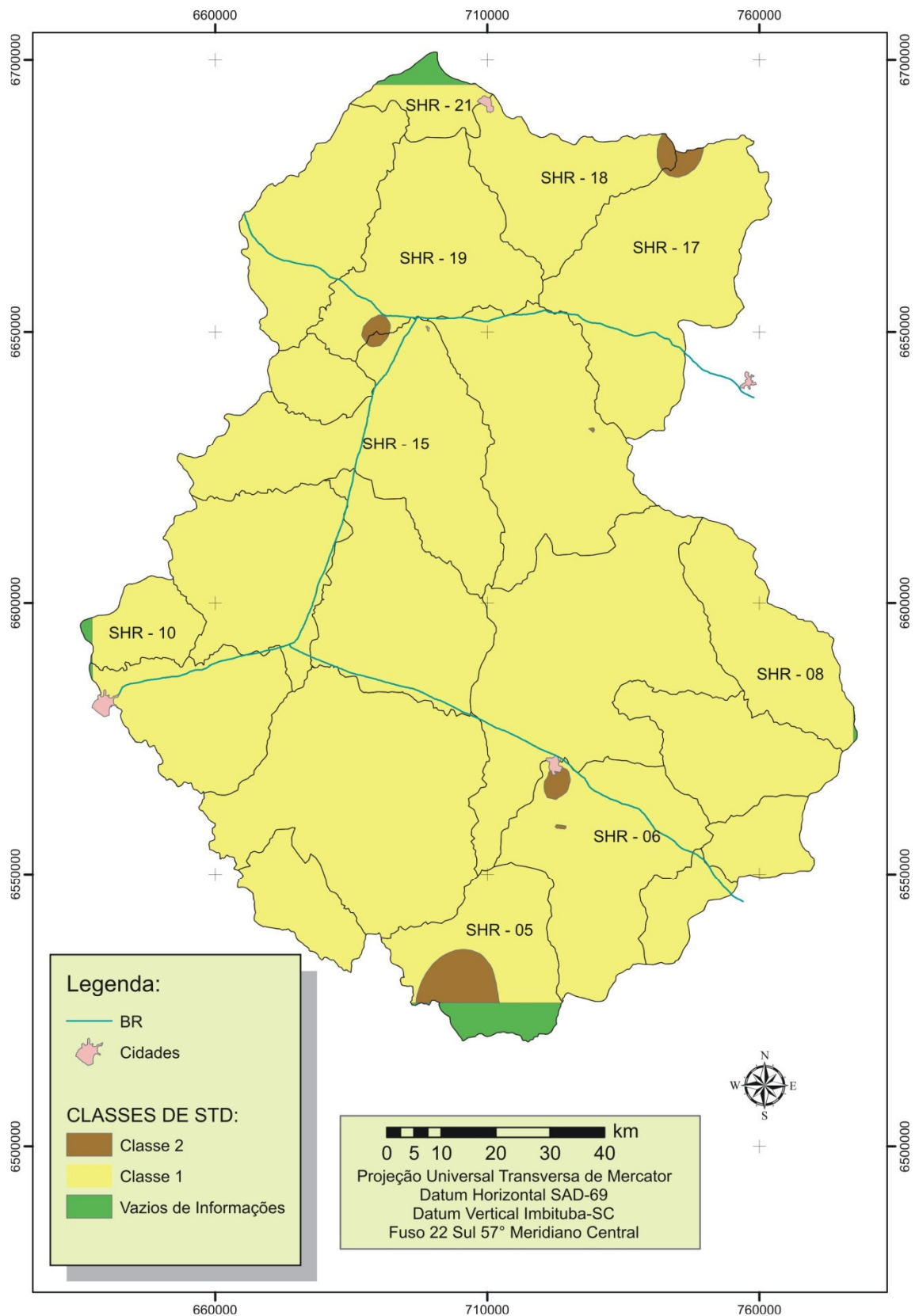


Figura 23 - Mapa da espacialização da concentração dos STD em Agosto/2009 (254 poços e/ou nascentes) na BHRSM.

Na comparação da Figura 23 com a figura 3 do ANEXO B, observa-se a ampliação de áreas com ocorrência de concentrações de STD na classe 2 da Resolução do CONAMA n° 396/2008 na SHR 01, ao sul do município de Dom Pedrito, onde intensificou-se as buscas por complementação com dados referentes as áreas onde haviam vazios de informações. Lembrando-se que na SHR 01 o sistema presente, de acordo com Freitas *et al.* (2004), é o Aquitardo Permiano, constituído pelas formações Palermo, Irati, Estrada Nova e Rio do Rasto, que são formações com águas predominantemente salobras pertencentes ao Domínio 2 (CPRM, 2007). Ou seja, concentrações de STD acima de 1.000.000 $\mu\text{g.L}^{-1}$ conforme Resolução do CONAMA n° 396/2008.

O quadro 10 dispõe somente das 10 SHR's que apresentam mais de uma classe de enquadramento (conforme a Resolução do CONAMA n° 396/2008) ou que apresentam uma classe de enquadramento mais vazios de informação.

SHR	Classe 1(km ²)	Classe 2(km ²)	Vazios(km ²)
SHR 05	464,242	114,197	121,548
SHR 06	978,009	23,054	-
SHR 08	635,766	-	2,143
SHR 10	248,134	-	8,005
SHR 15	1.243,834	7,110	-
SHR 16	1.131,710	0,470	-
SHR 17	1.218,906	21,316	-
SHR 18	586,786	17,791	-
SHR 19	908,591	15,038	-
SHR 21	161,586	-	44,362
Total	15.420,630	199,002	177,671

Quadro 10 – Distribuição das concentrações de STD nas SHR's que apresentam classe 2 na BHRSM.

Percebe-se a partir do exposto que houve preponderância da classe 1 com 97,62%. A classe 2 configurou cerca de 1,26% enquanto que os vazios de informação totalizaram cerca de 1,12% a área da BHRSM.

Notou-se que a maior ocorrência de águas subterrâneas na classe 2 foi na SHR – 05, com aproximadamente 24,6% de sua área total. Nesta SHR constatou-se em trabalhos de campo que as formações geológicas contribuem para a elevação nas concentração de sólidos

totais nas águas subterrâneas, os poços que atingem os folhelhos da Formação Irati acabam contendo águas salobras ($STD > 1.000.000 \mu\text{g.L}^{-1}$). Esta formação geológica constitui os Aquíferos Porosos Permianos (FREITAS *et al.*, 2004), associado ao Domínio 2 (CPRM, 2007).

5.4 - AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DOS NITRATOS (NO_3^-) NA BHRSM POR SHR'S (NÍVEL OU ESCALA DE ABRANGÊNCIA REGIONAL)

Dos 31 processos de outorga do Departamento de Recursos com nitratos avaliados, cerca de 04 apresentaram valores abaixo do limite de detecção. Assim, considerou-se que cerca de 27 poços apresentaram concentração de nitratos. Esses valores de concentração apresentam-se dispostos no banco de dados hidrogeológicos, anexo A.

As concentrações de nitratos NO_3^- representam um dos parâmetros mínimos selecionados para subsidiar a proposta de enquadramento das águas subterrâneas em classes em função dos usos preponderantes e características dos aquíferos conforme a Resolução do CONAMA nº 396/2008.

Posteriormente espacializou-se por SHR's. Os usos preponderantes estão dispostos no quadro 11 por SHR's.

Seção Hidrológica de Referência	Número de poços com informação	Uso Preponderante da água subterrânea
SHR – 06	01	(01) Industrial
SHR - 09	03	(01) Agricultura/Jardinagem e (02) Industrial
SHR - 10	01	(01) Industrial/Abast. Humano
SHR – 11	21	(18) Abastecimento Humano (DAE) e (03) INCRA (Assentamentos da reforma agrária)
SHR – 13	01	(01) Abastecimento Humano
SHR – 19	01	(01) Industrial

Quadro 11 - Usos Preponderantes x N° de poços x SHR's

Observa-se pela Figura 24 que, excetuando-se a SRH 11, os resultados são pontuais, sendo que cerca de quinze SHR's de um total de vinte e uma não contam com informações de NO_3^- nos poços referentes aos processos de outorga do DRH/SEMA até julho de 2009.

Nota-se que na SHR 11, o abastecimento humano realizado pelo DAE no Município de Santana do Livramento predomina na BHRSM, juntamente com a SHR 13. Secundariamente, o uso industrial em engenhos de arroz parbolizado (SHR's 06, 09, 10 e 19) e, em último, a agricultura (SHR 09).

Observando-se a Figura 24, nota-se que os resultados são muito pontuais, deixando a maior parte das SHR's sem informações relativas às concentrações de NO_3^- . Na SHR 11, onde está inserido o município de Santana do Livramento, tem-se informação de vinte poços representando cerca de 74% do total, sendo que o uso preponderante é para o abastecimento urbano. Quase a totalidade dos poços tubulares do DAE apresenta valores na faixa abaixo de 10 mg/l, excetuando um poço H-04 (banco de dados hidrogeológicos do ANEXO A) que registrou 13 mg/l de NO_3^- e, portanto, acima dos VMP's da Resolução do CONAMA n° 396/2008. Os outros três poços localizam-se na área rural e abastecem assentamentos do INCRA (Torrão, São João Núcleos Norte e Sul).

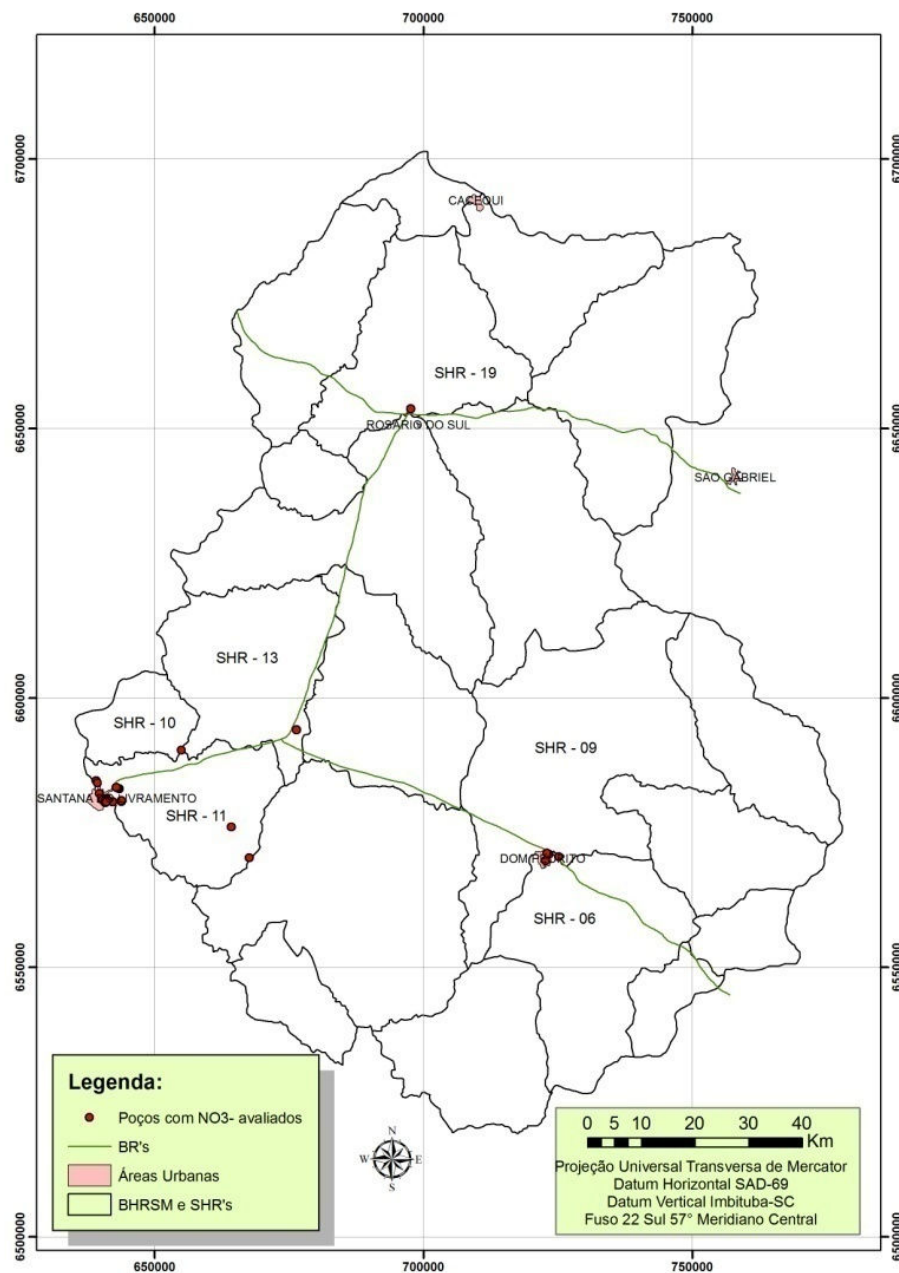


Figura 24 - Distribuição dos poços com concentrações de NO_3^- avaliados a partir dos processos de outorga do DRH/SEMA.

Notar o vazio de informações na escala regional (tanto SHR's como de Bacia Hidrográfica) e ainda considerar a existência de apenas vinte e sete poços tubulares que podem ser analisados em escala de abrangência local proposta por neste trabalho.

Deve-se salientar que o Projeto intitulado *Integração dos instrumentos de outorga, enquadramento e cobrança para gestão das águas subterrâneas* (ASUB) financiado pela FINEP, é o suporte técnico e financeiro desta pesquisa. Quando o referido projeto foi proposto não havia previsão de recursos para análises físico-químicas de NO_3^- nem de estudos bacteriológicos (coliformes termotolerantes). Conforme a Resolução do CONAMA n°

396/2008, nos parâmetros mínimos para o enquadramento em classes haveria a necessidade de mais informações relativas a outros parâmetros físico-químicos e/ou bacteriológicos. Salienta-se que os processos de outorga de uso das águas subterrâneas do DRH/SEMA exigem estudos dos parâmetros, tais como: turbidez, cálcio, cromo, cor, pH, flúor, zinco, sódio, cádmio, STD, dureza total, alcalinidade total, condutividade elétrica, potássio, chumbo, sulfato, cloreto, manganês, alumínio, nitratos, nitrogênio, temperatura da água e resíduo seco. Já os parâmetros hidrodinâmicos a serem considerados são: transmissividade, rebaixamento, capacidade específica calculada, vazão de exploração e regime de bombeamento. Portanto, são estudos em escala de abrangência local de poços tubular.

Em contrapartida, as outorgas de uso das águas subterrâneas exigem apenas monitoramento trimestral para os usuários que consomem mais do que 250 m³/dia de água. Na BHRSM, dos vinte sete processos, só haviam dois com monitoramento trimestral, pertencentes à Pernord Ricard Brasil Indústria e Comércio LTDA (fábrica e vinhedo).

Portanto, com a ampliação dos processos de outorgas, novas informações estarão disponíveis para estudos em escala de poço, como por exemplo estudos referentes ao perímetro mínimo de proteção. Estes virão com a ampliação futura do uso da água subterrânea.

As informações relativas às concentrações de NO₃⁻ estavam disponíveis para todos os processos de outorga do DRH/SEMA. Enquanto que as informações referentes aos coliformes termotolerantes estavam disponibilizadas apenas para os Municípios de Santana do Livramento, Dom Pedrito e Rosário do Sul, os quais apresentaram poços com vazão acima de 250 m³/dia e monitoramento trimestral.

5.5 - AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO DOS AQUÍFEROS

Com o objetivo de avaliar o índice de vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas na BHRSM a partir das informações disponibilizadas pelo Sistema de Informação de Águas Subterrâneas SIAGAS/CPRM (2009), e de posse de um banco de dados hidrogeológicos com informações dos poços inventariados neste trabalho (ANEXO A), aplicou-se a metodologia *GOD* de Foster *et al.* (1987), Foster e Hirata (1993) e Foster *et al.* (2003), referentes a 256 poços com informações inseridos na BHRSM. Encontrou-se cinco classes de vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos na BHRSM, são elas: insignificante, baixa, média, alta e extrema.

A partir da Figura 25, relativa à espacialização da vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos compreendidos nas áreas estabelecidas para cada uma das 21 SHR's da BHRSM, pode-se dizer que:

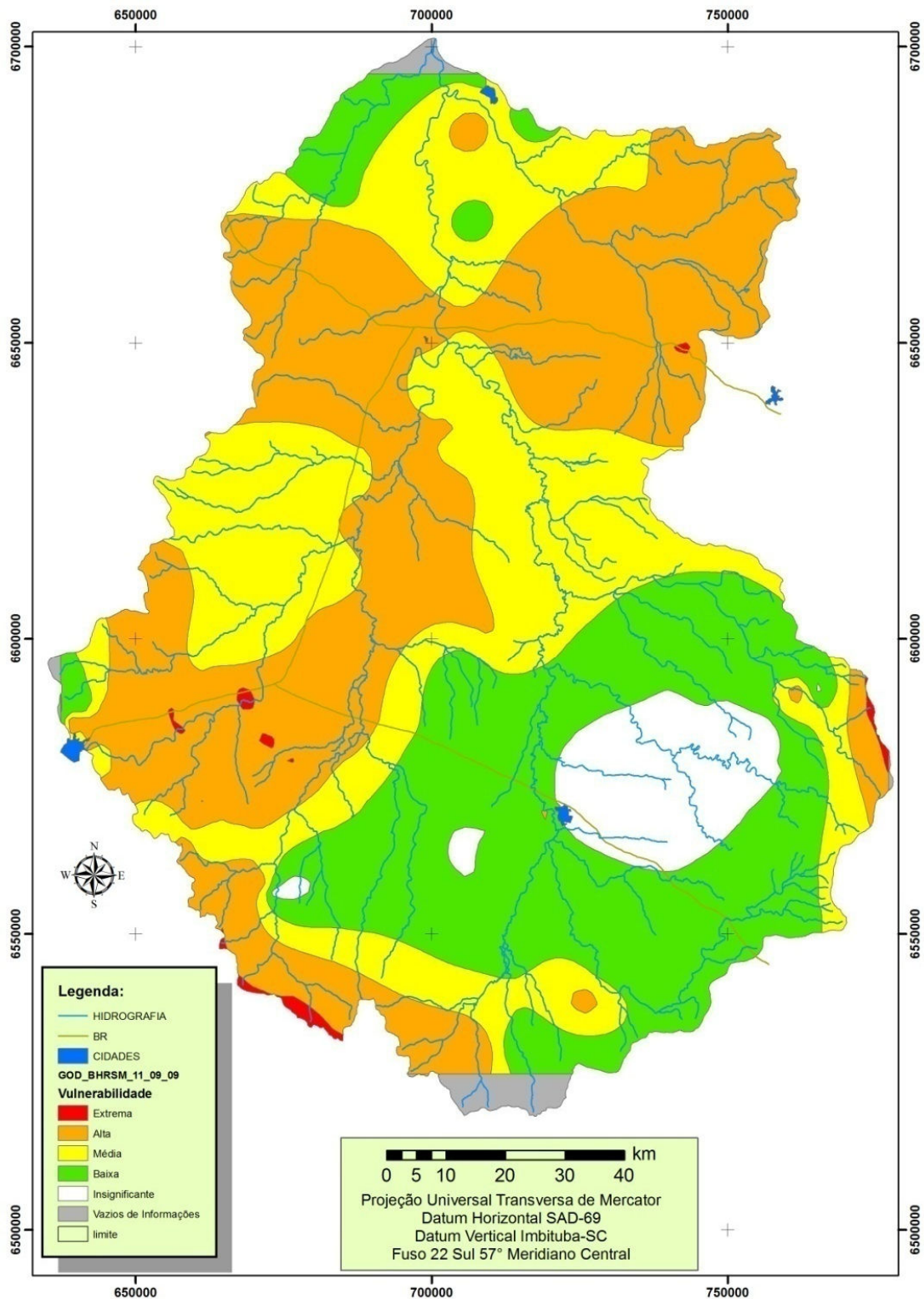


Figura 25 - Ilustra o mapa de vulnerabilidade á contaminação *GOD* para a maior parte da BHRSM. OBS.: Os valores das classes estão na metodologia.

Houve uma predominância da classe alta, com cerca de 5.674,075 km² na escala global da BHRSM. Nesta classe, a SHR 17 foi a que apresentou a maior área de ocorrência, com 1.218,044 km². Destaque teve também a classe média, com cerca de 4.760,117 km² na escala global da BHRSM. A SHR 16 apresentou uma maior cobertura com cerca de 812,774 km² enquanto que na SHR 03 ela não ocorreu. A classe baixa ocorreu em cerca de 4.224,927 km² em escala da BHRSM. As SHR's 13, 14, 15, 16 e 17 (quadro 12) não apresentaram poços enquadrados na classe baixa. A SHR 08 apresentou a maior área de cobertura nesta classe com 358,170 km².

SHR	Insignificante	Baixa	Média	Alta	Extrema	Vazio
1	1,476	14,621	47,008	209,398	30,519	-
2	48,236	794,967	404,594	363,670	1,317	-
3	-	189,575	-	-	-	-
4	-	185,432	40,127	-	-	-
5	-	210,392	189,687	178,360	-	121,546
6	170,617	720,816	97,294	12,334	-	-
7	285,990	215,117	70,205	7,550	-	-
8	11,281	358,170	164,282	92,056	9,674	2,443
9	382,418	170,595	282,044	2,868	-	-
10	0,144	19,926	52,569	155,959	-	7,538
11	0,166	3,944	91,722	529,822	13,987	1,128
12	-	175,294	227,804	502,261	-	-
13	-	-	551,633	269,073	1,561	-
14	-	-	20,285	185,887	-	-
15	-	-	668,490	582,454	-	-
16	-	-	812,774	319,405	-	-
17	-	-	18,984	1218,044	3,192	-
18	-	24,231	358,198	222,147	-	-
19	-	37,697	450,097	435,835	-	-
20	-	209,704	134,850	375,629	-	-
21	-	74,101	76,914	10,394	-	44,530
total	900,332	4224,927	4760,117	5674,075	60,423	177,419

Quadro 12 - Classes de vulnerabilidade *GOD* por SHR para BHRSM.

A classe insignificante fez-se presente em cerca de 900,332 km² em escala da BHRSM. A SHR 09 foi que apresentou a maior ocorrência nesta classe, enquanto que as SHR's 03, 04, 05, 12 até a 21 não apresentaram poços enquadrados nesta classe. A classe extrema apresentou uma pequena distribuição espacial na BHRSM com apenas 60,423 km².

A SHR 01 foi a que apresentou a maior ocorrência em termos espaciais com cerca de 30,519 km². Salienta-se que esta classe ocorreu principalmente associada ao Domínio 2, à Bacia Sedimentar (CPRM, 2007), e aos Sistemas Aquíferos Porosos, representados principalmente pelas formações Triássicas (Rosário do Sul e Sanga do Cabral), Cretácea

(Santa Tecla) e Cenozóica (Depósitos aluvionares) (FREITAS *et al.*, 2004). Várias SHR's não apresentaram esta classe, tais como SHR 03, 04, 05, 06, 09, 10, 12, 14, 15, 16, 18 e 21.

A SHR 11, onde se situa a área urbana do Município de Santana do Livramento, foi simulada a partir de informações de 117 poços. Notou-se um amplo predomínio da classe alta, com cerca de 529,822 km² de uma área total estimada de 640,950 km². Esta SHR contém 36,4% dos poços distribuídos na BHRSM. Deve-se lembrar que a cidade de Santana do Livramento é abastecida pelos Aquíferos Porosos Triássicos acrescidos dos Aquíferos Porosos Eo-Cretáceos mais conhecidos como Aquíferos Guarani e atualmente Sistema Aquífero Guarani (SAG) associadas ao Domínio 2 (CPRM, 2007).

Estudos de Frantz (2005) já haviam apresentado os principais pontos potenciais de contaminação para a cidade de Santana do Livramento. Destacou a ocorrência de quatro cemitérios localizados em áreas de afloramentos do SAG, portanto de recarga direta a partir das precipitações pluviométricas, logo representando risco potencial. Em estudo da vulnerabilidade na região de Quaraí/Artigas (SILVÉRIO DA SILVA *et al.*, 2006), dos quatro cemitérios maiores existentes na área municipal, apenas um estava licenciado. De acordo com as Resoluções Federais do CONAMA n^{os} 335/2006 e 368/2006 complementada pela estadual, cabe às prefeituras municipais realizarem o licenciamento de impacto local, desde o ano de 2005, quando realizado o Projeto Caracterização de áreas de recarga e descarga do SAG em Rivera/Santana e Quaraí/Artigas.

Na área urbana haviam sido cadastrados cerca 22 postos de combustíveis (FRANTZ, 2005), e muitos deles com lavagens e uso de poços tubulares para captações de água. Recentemente, o Conselho de Recursos Hídricos aprovou a Resolução n^o 60/2009, que objetivou estabelecer critérios para outorga de uso das águas subterrâneas, a cerca do disposto no Art. 96 do Decreto Estadual n^o 23.430/74. Considerando:

[...] o disposto no *caput* dos artigos 87 e 96 do Decreto Estadual n^o 23.430, de 24 de outubro de 1974, os quais definem que somente pela rede de abastecimento de água potável, quando houver, far-se-á o suprimento da edificação e que nas zonas servidas por rede de abastecimento de água potável os poços serão tolerados exclusivamente para fins industriais ou para uso em agricultura e floricultura;

Portanto, aos postos de combustíveis é permitido o uso de captações de águas subterrâneas para fins industriais através de poços tubulares.

Ainda deve ser lembrado que a taxa de coleta e tratamento de esgotos pelo DAE em Santana do Livramento seja da ordem de 30% do total produzido na área urbana. O antigo

Lixão Municipal, localizado em terrenos de constituição vulcânica e/ou suas alterações, que se localiza na Formação Serra Geral e/ou no Aquífero Fissural Serra Geral (FREITAS *et al.*, 2004) e ao Domínio 5 (CPRM, 2007), foi desativado há vários anos.

Os vazios de informações calculados chegaram a um valor de 177,419 km² na escala da BHRSM e de acordo com a Figura 22, localizaram-se em pontos extremos da BHRSM. Estes vazios devem-se a provável ausência de captações subterrâneas ou a inexistência de tubo guia implantado em poço tubular, não sendo possível a obtenção do nível da água com uso do freatímetro. Este exemplo ocorreu na localidade de fronteira denominada Serrilhada, município de Dom Pedrito, na divisa seca com o Uruguai. Esta comunidade, em abril de 2009, era abastecida por água de chuvas ou cedida pela *Obras Sanitárias Del Estado* (OSE). Observou-se uma despreocupação das autoridades brasileiras em suprir adequadamente a comunidade. Havia três caixas de água de fibra de cimento, sem tampas, expostas à natureza. A vigilância sanitária municipal não visitava o local há meses. Os moradores informaram que não ocorriam precipitações pluviométricas há pelo menos três meses (abril de 2009). Do lado uruguaio, pertencente ao Departamento de Rivera, havia água encanada, distribuída pela OSE, e já contava com hidrômetros instalados. O poço tubular existente do lado brasileiro estava com a bomba submersa “afundada”. Esta observação mostra a importância da realização de trabalhos de campo com visitas *in loco*.

Informa-se que, durante a realização deste trabalho, as captações onde era possível uma coleta de água, realizaram-se análises com sondas multiparâmetros em campo. Os resultados eram repassados à comunidade. O formulário para registro e/ou coleta destas avaliações e as orientações sobre o cuidados com as captações (Educação Ambiental) eram fornecidas aos usuários de águas subterrâneas (conforme ANEXOS C e D).

Ainda em relação ao fechamento dos cálculos de áreas de SHR's associadas à vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos, obteve-se uma diferença entre a área da BHRSM estimada pelo SM-SIG1 (UFMS/SEMA, 2004) de 0,007 km² ou seja, 0,7 ha. Relacionou-se a área estimada pelo uso de sobreposição das informações *shapefiles* no Programa ArcGIS 9.3. Esta ferramenta mostrou-se muito eficaz e ainda poderá ser utilizada futuramente na atualização das informações de novos poços cadastrados e/ou outorgados ou ainda coletas de campo.

Posteriormente espacializou-se os Domínios Hidrogeológicos relacionando-os às classes de vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos em escala de abrangência global e/ou nível de abrangência global (COSTA, 2009). Os valores de ocorrência de cada uma das

Unidades Hidroestratigráficas já tinham sido objeto de estudos de Pavão (2005) para a BHRSM.

5.5.1 - Domínios Hidrogeológicos presentes na BHRSM

Durante a sobreposição das informações em nível de abrangência global na escala de Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos para a BHRSM, constatou-se algumas divergências entre os SIG's produzidos a partir de mapas geológicos da CPRM (1986) e o da CPRM (2008). Deve-se salientar que com mapeamentos executados em escala de maior detalhe e com novos métodos indiretos (magnetometria, imagens de satélite e de radar), novas unidades geológicas foram redefinidas e/ou redimensionadas e devem ser acrescentadas ou generalizadas na escala da BHRSM (global).

A área de abrangência do Domínio 1 das Formações Cenozóicas (Aquíferos intergranulares) ocorreram numa área de 3.801,044 km², representando cerca de 24,07% da BHRSM. Deve-se salientar que, associada a esse Domínio, ocorrem nas Planícies Aluviais o cultivo do arroz irrigado com uso de agroquímicos no período de dezembro a março.

A área de abrangência do Domínio 2, relativo às rochas sedimentares pertencentes à Bacia Sedimentar do Paraná, são reservatórios constituídos por Aquíferos intergranulares com uma área total de 9.322,164 km². Esta sequência de rochas sedimentares arenosas apresenta espessura (como por ex.: furo teste perfurado pela Petrobrás em Alegrete com mais de 800 metros penetrados no Domínio 2 Bacia Sedimentar), além de conteúdos variados de frações finas. Em seus conteúdos podem apresentar materiais particulados finos (fração argilosa), que interferem nas razões porosidade/permeabilidade e, portanto, na vazão de exploração, e ainda na velocidade do fluxo subterrâneo, ou ainda, na formação de surgências (ou áreas de descarga). Estas surgências ainda podem estar relacionadas a áreas de banhados, logo de difícil identificação na superfície do terreno. O Domínio 2 ocupa 59,02% da área da BHRSM.

A área de abrangência do Domínio 5, associada aos derrames vulcânicos da Formação Serra Geral (Aquíferos fissurais), apresentou uma pequena ocorrência na BHRSM com uma área de 204,973 km². Este domínio representa cerca de 1,30% da BHRSM, o que concorda com estudos de Pavão (2004). Este aquífero ocorre em parte da área urbana de Santana do Livramento na divisa seca com Uruguai, no Departamento de Rivera. Localmente ocorre a formação da Serra de Santana constituída de rochas vulcânicas no topo. Também merece salientar que esta litologia ocorre em topos de cerros, como no caso do Cerro Palomas, de 312 metros de altitude (TOPODATA, 2009). Esta paisagem ocorre ainda no topo do Cerro do

Registro (de 284 metros) e no Cerro do Armour (de 250 metros) em Santana do Livramento. A Serra de Santana serve de interflúvio entre bacias hidrográficas bem como para fronteira entre Brasil e Uruguai.

A área de abrangência do Domínio 6 está associada ao Cristalino constituído de rochas granitóides de idade Pré-Cambriana que constituem os Aquíferos Fissurais. A área de ocorrência deste domínio foi de 2.466,346 km² na BHRSM. Deve-se salientar que, neste domínio, as vazões de exploração são baixas (HAUSMAN, 1995) e portanto, há a predominância de captações por poços escavados de grande diâmetro e/ou nascentes canalizadas. Este domínio representa cerca de 15,62% da área da BHRSM. Também suas águas podem conter elevados teores de sais totais dissolvidos e serem impróprias ao consumo humano.

Observa-se que no mapa geológico da CRPM (1986) havia uma identificação através do SIG da existência da Formação Irati (Domínio 2), que foi reavaliada através do mapa geológico da CPRM (2008), constatando-se no mesmo um maior grau de detalhamento litológico. A mesma área que apresentava apenas a Formação Irati (CPRM, 1986), subdividiu-se em três tipos CPRM (2008), a saber:

1. Subgrupo Estrada Nova (Domínio 2);
2. Formação Palermo (Domínio 2);
3. Depósitos Aluvionares (Domínio 1).

Foram constatadas diferenças no fechamento dos cálculos entre o *shape* da área da BHRSM no SM-SIG1 (UFMS/SEMA, 2004) de 15.797,300 km² em relação ao *shape* da geologia (base para realização do mapa de Domínios Figura 23), obtendo-se nesta avaliação 15.794,527 km² de área entre os quatro Domínios (CPRM, 2007) existentes na BHRSM. Portanto, resulta em uma diferença de 2,773 km². Isto se deve à existência de vazios de informações na intersecção entre os dois *shapes* diferentes, realizados a partir de limites (*shape* de limite de bacia) ajustados e/ou executados em anos diferentes.

Portanto, sugere-se que sejam realizadas novas atualizações dos limites da BHRSM, a qual originalmente foi definido através de cartas topográficas do exército na escala de 1:50.000 conforme informações obtidas via *e-mail* de Rafael Cabral Cruz (em 13 de setembro de 2009 “Realmente a delimitação anterior foi com base nas cartas de 1:50.000”). Esta atualização pode ser realizada, por exemplo, com os dados disponíveis no TOPODATA, produto de reamostragens realizadas pela Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a partir de imagens *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA).

5.5.2 - Espacialização da vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos pelos Domínios Hidrogeológicos existentes na BHRSM

Considerando-se a vulnerabilidade à contaminação do(s) aquífero(s) (método *GOD*, por FOSTER *et al.* 2003) que compõe(m) cada Domínio Hidrogeológico, obteve-se para a BHRSM o mapa ilustrado na Figura 26:

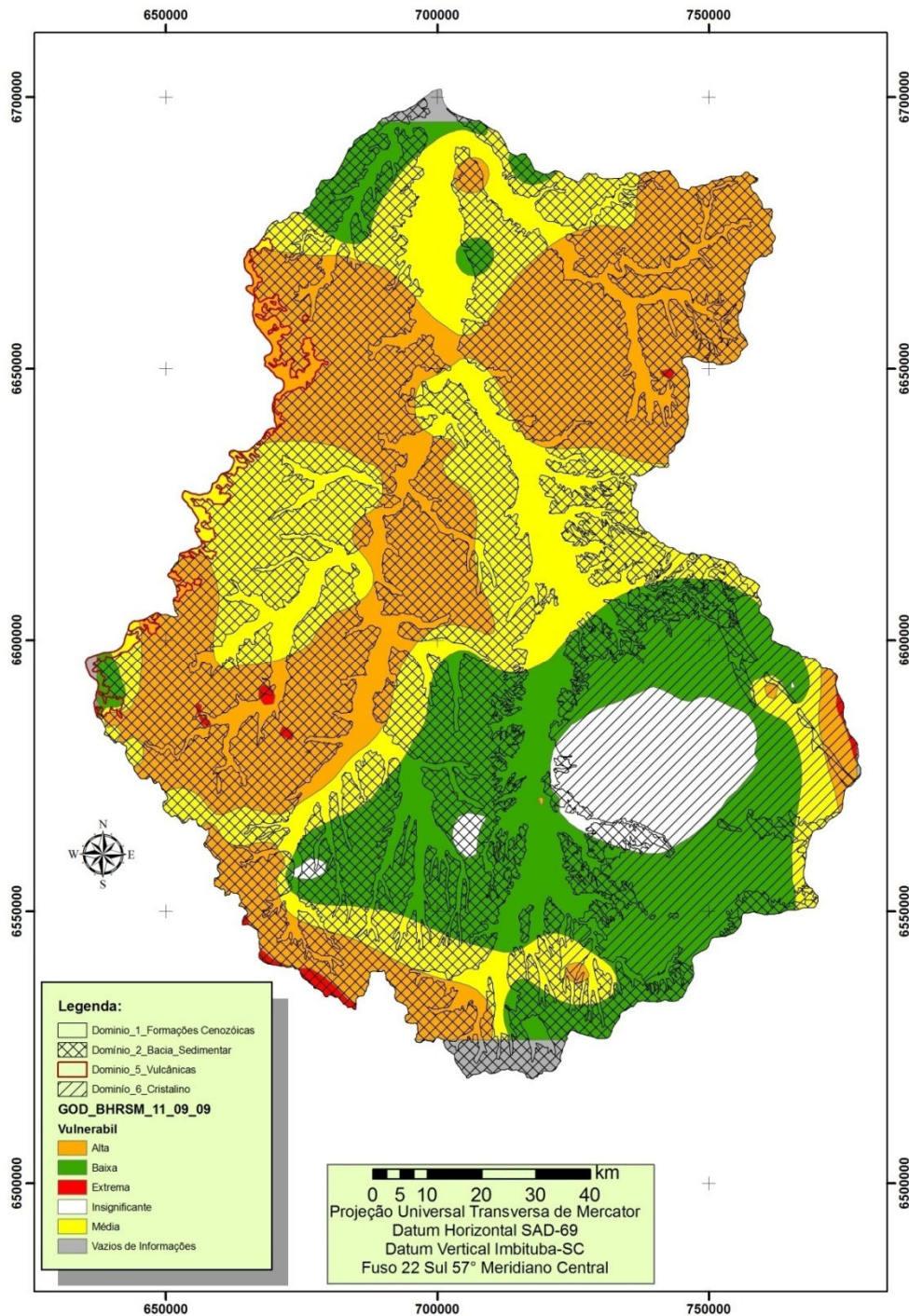


Figura 26 - Mapa da Vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos (GOD, FOSTER *et al.* 2003) por Domínios Hidrogeológicos da BHRSM.

O Domínio 1, das Formações Cenozóicas (CPRM, 2007) está associado aos Aquíferos Porosos Cenozóicos Aluvionares, (FREITAS *et al.*, 2004) neste obteve como classe preponderante a média, com cerca de 1.630,801 km² (Quadro 13). Salienta-se que o uso de agroquímicos na cultura do arroz irrigado deve ser considerado uma fonte difusa de contaminação dos aquíferos.

Vulnerabilidade	Área no Domínio 1 (km²)	(%) do Domínio 1
Insignificante	38,384	1,01
Baixa	1.113,061	29,30
Média	1.630,801	42,92
Alta	967,816	25,47
Extrema	5,248	0,14
Vazios de Informação	44,053	1,16
Total	3.799,363	100

Quadro 13 – Vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos no Domínio 1 Formações Cenozóicas (Aquíferos Porosos Cenozóicos Aluvionares).

O Domínio 2, dos aquíferos porosos, onde a classe predominante foi a alta, com cerca de 2.805,466 km² na BHRSM (Quadro 14). A classe alta aliada a este domínio também ocorre na área urbana de Santana do Livramento, onde existem diversas atividades antropogênicas com uso do solo urbano (DALMOLIN *et al.*, 2006), e com vários pontos potenciais de contaminação.

Vulnerabilidade	Área no Domínio 2 (km²)	(%) do Domínio 2
Insignificante	112,666	1,20
Baixa	1.735,635	18,62
Média	2.805,466	30,09
Alta	4.502,147	48,29
Extrema	45,338	0,48
Vazios de Informação	123,089	1,32
Total	9.324,341	100

Quadro 14 – Vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos no Domínio 2 – Bacia Sedimentar (do Paraná).

No Domínio 5, dos aquíferos fissurais, a classe preponderante de vulnerabilidade à contaminação foi a alta com 110,545 km² (Quadro 15). Este Domínio ocorre capeando alguns

cerros como o Palomas e constitui o arcabouço da Cuesta do Haedo, com pendente para sudoeste em direção à Bacia Hidrográfica do Rio Quaraí. Este domínio ocorre numa pequena faixa associada ao limite desta bacia hidrográfica com as adjascentes, do Ibicuí U – 50 e Quaraí U – 40, pertencentes à Região Hidrográfica do Uruguai. Parte da área urbana de Santana do Livramento encontra-se sobre este domínio, sendo as atividades antropogênicas as de maior risco, como o passivo ambiental do antigo lixão já desativado.

Vulnerabilidade	Área no Domínio 5 (km²)	(%) do Domínio 5
Insignificante	0,309	0,15
Baixa	16,498	8,05
Média	70,015	34,16
Alta	110,545	53,94
Extrema	-	-
Vazios de Informação	7,604	3,70
Total	204,971	100

Quadro 15 - Vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos no Domínio 5 – Vulcânicas.

No Domínio 6, dos Aquíferos Fissurais do Cristalino, predominou amplamente na vulnerabilidade à contaminação a classe baixa, com 1.359,323 km² (Quadro 16), devido a sua estrutura cristalina maciça e ao seu grau de confinamento. Somente a área urbana do Município de Lavras do Sul assenta-se diretamente sobre este. São cerca de 4.828 habitantes nas áreas urbana e rural segundo o censo IBGE (2000). Salienta-se que esta área situa-se fora da BHRSM.

Vulnerabilidade	Área no Domínio 6 (km²)	(%) do Domínio 6
Insignificante	748,971	30,36
Baixa	1.359,323	55,14
Média	253,258	10,27
Alta	92,674	3,75
Extrema	9,674	0,39
Vazios de Informação	2,445	0,09
Total	2.466,345	100

Quadro 16 – Vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos no Domínio 6 – Cristalino, com granitóides.

Deve-se lembrar que as populações rurais as quais realizam captações por poços escavados e/ou nascentes estão submetidas a um maior risco de contaminação veiculado pela água. Observaram-se captações na área rural com suspeitas de contaminação por coliformes fecais, já que os sanitários não possuem sistema de coleta nem tratamento dos resíduos, representando alto risco de contaminação. Também as criações de animais em áreas confinadas (pocilgas) representam risco de alteração da qualidade das águas subterrâneas.

Conclui-se que, nos aquíferos porosos intergranulares pertencentes aos Domínios 1 e 2, onde a classe predominante de vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos foi a média, salienta-se que a variabilidade lateral e na vertical da distribuição da relação porosidade/permeabilidade são importantes fatores a serem avaliados na potencialidade e nos riscos de contaminação das águas subterrâneas associadas a estes reservatórios.

Em relação aos aquíferos fissurais pertencentes ao Domínio 6, sua área de ocorrência em torno de 16% na BHRSM predominou a classe baixa. Por outro lado, o Domínio 5, mesmo ocupando uma pequena área da BHRSM, com cerca de 1,30% na borda oeste da BHRSM, ocupa áreas urbanas da cidade de Santana do Livramento, associadas a classe alta.

Futuras propostas de diretrizes para gestão e/ou exploração dos aquíferos nestas regiões deverão levar em conta no mínimo a vulnerabilidade das águas, a quantidade e a qualidade. Desses três parâmetros mínimos a presente pesquisa avaliou através do método GOD a vulnerabilidade dos aquíferos, além do estudo qualitativo das águas através da avaliação das concentrações de STD e de nitratos presentes na BHRSM.

Ainda com relação à vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos, faz-se um alerta sobre o cuidado ao instalar empreendimentos potencialmente poluidores nessas regiões que se apresentam mais vulneráveis (cores laranja e vermelha do mapa da Figura 25). Prevenir um aquífero da ocorrência de uma contaminação ou saná-la é sem dúvida bem menos oneroso que contaminá-lo.

No Município de Santana do Livramento encontram-se 11 poços em situação de vulnerabilidade extrema, portanto existem riscos potenciais à contaminação das águas subterrâneas maiores na área urbana da SHR 11.

Para sanar este tipo de problemática, devem ser tomadas, em nível local (poço) medidas como, por exemplo, seguir as normas construtivas de poços tubulares:

- ABNT 12212/2006, que estabelece procedimento para o projeto de poço para captação de água subterrânea;

- ABNT 12244/2006, que fixa normas construtivas para poço de captação de água subterrânea, destinada ao abastecimento público que se aplicam a todos os tipos de poços perfurados em rochas de características físicas diversas.

Essas normas fornecem diretrizes para execução de selos sanitários e perímetros de proteção em poços, e colaboram em nível ou escala de abrangência local (boca e perímetro imediato do poço) para a atenuação de contaminantes de origem animal e antropogênica.

Já o Manual de perfuração de poços tubulares para investigação e captação de água subterrânea no “Sistema Aquífero Guarani” (PSAG, 2007) também é um documento que reúne informações importantes e fundamentais para a proteção e adequada exploração das águas deste aquífero. Este manual representa um ponto de apoio e referência técnica para execução, bem como para cuidados a se tomar com poços tubulares.

Foi constatado em trabalho de campo que várias captações realizadas por poços escavados de grande diâmetro, quando ligados a rede do DAE, transformavam suas captações em locais para descarte de seus resíduos tanto líquidos, oriundos de fossas negras, e também sólidos de diversos tipos, tamanhos e composições. Sugerem-se campanhas educativas de valorização dos recursos hídricos subterrâneos, visando à preservação de sua qualidade natural.

Assim sugere-se que seja implantado um sistema de divulgação para que estas captações, bem como de outros poços abandonados, sejam adequadamente tamponadas, conforme previsto o termo de referência do DRH/SEMA. Este termo de referência visa traçar procedimentos para tamponamento em poços que tenham sido abandonados por qualquer motivo. E encontra-se em conformidade com o disposto no Artigo 32 e parágrafo único do Decreto Estadual nº 42.047/2002.

5.5.3 - Valoração das águas subterrâneas da BHRSM

Propõe-se para a avaliação das águas subterrâneas na BHRSM os critérios estabelecidos pelo enquadramento e pela vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos. Para o enquadramento, neste caso, levou-se em conta somente as concentrações de STD. A Figura 27 expõem a tendência de valor da água conforme as condições do meio físico.

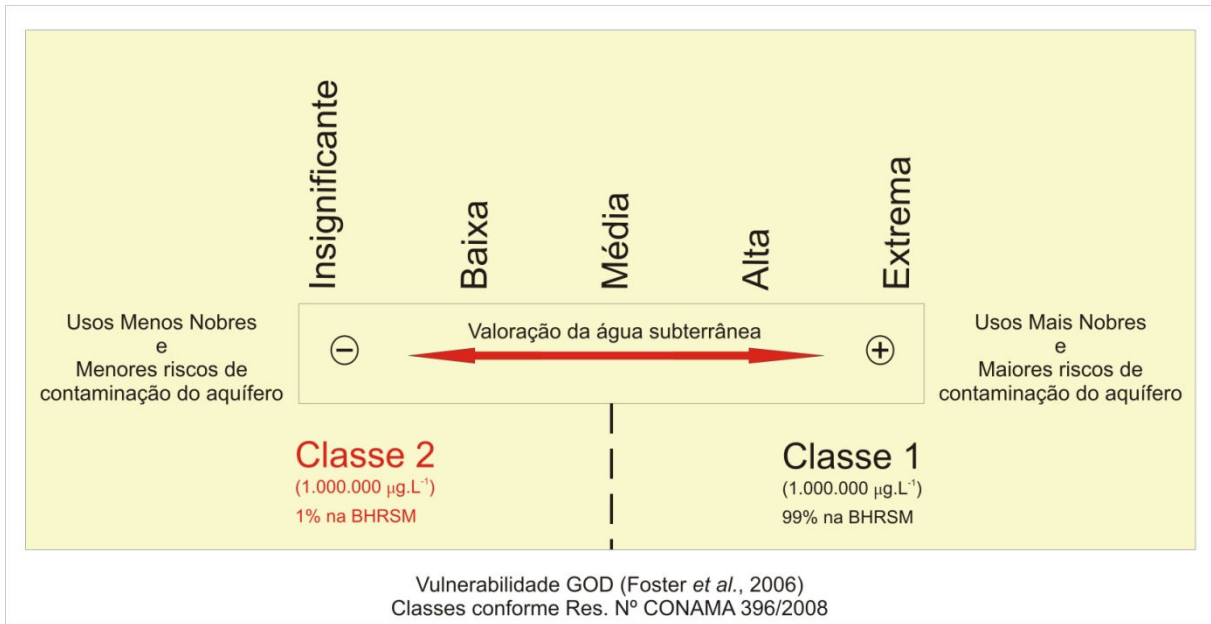


Figura 27 – Valoração das águas subterrâneas a partir da sobreposição de critério qualitativo e do índice de vulnerabilidade.

Pode-se observar que o esquema vai de encontro aos princípios de gestão racional dos recursos hídricos subterrâneos, onde taxa-se com valores maiores águas de boa qualidade, incentivando desta forma os que consomem grande quantidades de águas a utilizarem as de qualidades inferiores.

CAPÍTULO VI – CONCLUSÕES

Através deste estudo, pode-se delinear uma diretriz de níveis e escalas de abrangência que servem de subsídio para gestão de recursos hídricos subterrâneos. A adaptação realizada com base no trabalho de Costa (2009) amplia as possibilidades de aplicabilidade destes conceitos para a Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria (BHRSM) além de poder ser replicado em outras bacias hidrográficas. Esta adaptação incluiu alguns elementos de comparação dentre eles os Domínios Hidrogeológicos (CPRM, 2007), as Províncias Hidrogeológicas, os Sistemas Hidrogeológicos e as Unidades Hidroestratigráficas. Considerou-se que as dimensões de um aquífero podem ultrapassar a área de uma bacia hidrográfica, de um estado ou vários estados, e até mesmo de países, como é o caso do Sistema Aquífero Guarani que aflora na BHRSM. Deve-se lembrar que a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei das Águas) estabeleceu a bacia hidrográfica como unidade de gestão.

Assim foram propostas escalas de abrangência dos instrumentos de gestão (outorga, enquadramento e cobrança) global, regional e local. Para a escala global utilizaram-se os conceitos de Domínios, Sub-domínios Hidrogeológicos, de Províncias e Sub-províncias Hidrogeológicas e de Sistemas Hidrogeológicos (Aquíferos e Aquitardo) e Unidades Hidroestratigráficas as quais necessitam de uma escala de observação igual ou menor que 1:250.000. Em função de suas características que independem e/ou extrapolam a delimitação hidrográfica das bacias, além de suas dimensões físicas em geral serem superiores e/ou não coincidentes com as bacias hidrográficas.

Em escala de abrangência regional foram considerados a bacia hidrográfica, e as seções hidrogeológicas de referência (SHR's), estas para avaliação em escala da ordem de 1:250.000 a 1:50.000, portanto de grandeza semi-detalhada, abrangendo um aquífero ou sistema aquífero, conectado hidraulicamente.

Em nível ou escala de abrangência local foram consideradas as captações de águas subterrâneas, considerando-se os aspectos e tipos de poços. Os tubulares, os escavados de grande diâmetro e as nascentes e/ou surgências, incluídos em escala igual ou maior do que 1:50.000. Devido a sua natureza pontual e necessitarem de maior detalhamento no local da captação.

Em relação aos usos preponderantes das águas subterrâneas na BHRSM, e de acordo com a Resolução do CNRH n° 22/2002 e ainda Resolução do CONAMA n° 396/2008, constatou-se que o abastecimento humano corresponde a 69,0%, seguido pelos abastecimento

múltiplo com 4,4% e o industrial com 3,4%. Salienta-se que cidades como Santana do Livramento na fronteira com o Uruguai e ainda a cidade de Cacequi são completamente abastecidas de captações de águas subterrâneas especialmente do Sistema Aquífero Guarani. Observou-se que o uso na irrigação da lavoura de arroz é desprezível nesta bacia.

Com relação às simulações realizadas em relação à concentração de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) na BHRSM, avaliou-se um acréscimo de áreas apresentando águas salobras de concentrações anômalas (Resolução do CONAMA n° 396/2008) classe 2 acima de $1.000.000 \mu\text{g.L}^{-1}$. Enquanto na primeira avaliação avaliada no ano de 2008, havia 0,95% da área enquadrada na classe 2. Já na segunda simulação essa área apresentou-se um acréscimo para cerca de 1,26% da área da BHRSM.

Deve-se salientar que apesar do acréscimo de áreas com concentrações de STD na classe 2 (Res. CONAMA n° 396/2008), as águas salobras identificadas até o presente momento na BHRSM são de pouca expressão ($\pm 1\%$), portanto ocorre o predomínio de águas doces enquadradas na classe 1 até a presente avaliação.

Em relação aos estudos de enquadramento conclui-se que em escala de SHR's na BHRSM ainda apresenta de poucas informações disponíveis. Mas com a indicação da ocorrência de classe 1 e classe 2, com concentrações de STD e nitratos, poderão ser utilizados como critérios de apoio para as simulações de cobrança futura dos recursos hídricos. A contribuição que este trabalho traz é de que águas salobras enquadradas como classe 2, consideradas impróprias para consumo humano, devem ter uma valoração menor. Enquanto que as águas doces enquadradas como classe 1, incentivando-se o uso racional das águas de melhor qualidade físico-química intrínseca, na BHRSM. As águas enquadradas como classe 1 teoricamente devem ser usadas no consumo humano conforme ilustrado na Figura 28.

Em relação à vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas, a BHRSM apresentou uma preponderância para a classe alta (entre 0,5 e 0,7), com cerca de 35,92% de sua área total.

Foi realizada ainda a avaliação de vulnerabilidade por Domínios Hidrogeológicos (escala global) e por Seção Hidrológica de Referência (escala regional), além de possuir o banco de dados hidrogeológicos ANEXO A com a informação pontual (captação, escala local) o qual poderá ser utilizado pelos órgão gestores visando subsidiar futuras outorgas de uso das águas subterrâneas.

O Domínio Hidrogeológico 2 foi preponderante na BHRSM, associado às Bacias Sedimentares e aos Aquíferos intergranulares porosos, neste caso representado pela Bacia Sedimentar do Paraná e parte do Sistema Aquífero Guarani. Este Domínio apresentou como

classe principal de vulnerabilidade a alta, com cerca de 48,28% de sua área. O Domínio 2 é composto principalmente por rochas sedimentares, e portanto porosas, com elevada condutividade hidráulica, o que facilita a percolação de contaminantes. Portanto apresentam aspectos de maior risco de contaminação em aquíferos livres, nos quais são executadas atividades agrícolas com uso de agroquímicos e nas áreas urbanas os usos antropogênicos associados aos pontos potenciais de contaminação através de esgotos, cemitérios, postos de combustíveis e depósitos de resíduos sólidos. Enquanto que os aquíferos semiconfinados podem estar por exemplo parcialmente protegidos por camadas de constituição argilosa (impermeável), associados a Formação Rosário do Sul.

As análises de vulnerabilidade segmentadas por Domínios e SHR's poderão servir de critérios para a elaboração de diretrizes e/ou à implementação de coeficientes para cobrança, auxiliando desta forma na avaliação dos processos referentes a águas subterrâneas realizado pelo DRH/SEMA. Conseqüentemente na gestão dos recursos hídricos em geral. Sugere-se como exemplo, a sobreposição de dois critérios de outorga e o controle e/ou inserção de um coeficiente mais restritivo para avaliar a alocação de um poço pertencente ao Domínio 2 (que possui 48,28% de vulnerabilidade na classe alta), e ainda pertencente à SHR 17 (a qual possui 98,21%) de classe alta. E visando uma gestão eficaz para evitar um futuro colapso em seus recursos hídricos que afetará os meios físico, biótico e antrópico com diferentes intensidades. Uma vez que a sobreposição destes critérios coincide duas vezes uma associação com a classe alta, elevar-se-ia o valor do coeficiente ou das exigências para outorga e da cobrança sobre um poço perfurado nestas duas condições.

A sobreposição do critério concentrações de STD nas classes 1 e 2 ao da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas servirão de diretrizes para a implementação dos instrumentos de gestão e uso e ocupação do solo de forma integrada com as demais políticas de proteção ao ambiente físico (Código Florestal, Política Nacional do Meio Ambiente e Política das Águas).

Para auxiliar essas possíveis implementações de parâmetros para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos, elaborou-se o SIG-BHRSM, que se encontra no ANEXO A. Esta pode ser uma ferramenta para se conhecer a nível ou escala regional e local a condição do ponto em que se quer outorgar um poço. O parâmetro vulnerabilidade já representa um coeficiente de ponderação em simulações de cobrança pelo uso de águas superficiais. Como exemplo de utilização deste coeficiente, cita-se o trabalho realizado por Forgiarini (2006), para BHRSM.

Em relação às propostas e os objetivos desta pesquisa, avalia-se que a maior parcela do proposto tenha sido alcançado, uma vez que se conseguiu avançar nos estudos que buscam

a interação destas duas fases do ciclo hidrológico (superficial e subterrânea). Desta forma, gerou-se subsídios técnicos de fundamental importância estratégica em níveis e escalas de abrangência distintos (Global, Regional e Local) para a gestão dos recursos hídricos, em especial as águas subterrâneas dentro da área em estudo.

Este trabalho buscou contribuir e propor diretrizes aos gestores públicos (DRH/SEMA, IBAMA, ANA) em face da ocorrência de um Sistema Aquífero Transfronteiriço, o SAG. Ao comitê desta bacia, através da adaptação das propostas já apresentadas por Costa (2009) para o baixo curso do Rio Paraíba/PB.

A elaboração de banco de um dados hidrogeológicos, de um SIG e de mapas de cotas potenciométricas, de concentrações de STD e nitratos e ainda da vulnerabilidade *GOD* (especializada por Domínios, por SHR's e ainda por captações por poço pertencentes a BHRSM) contribuem como ferramenta para gestão das águas subterrâneas da BHRSM, colaborando para manutenção e reconhecimento da qualidade, da quantidade e da sua dinâmica para atuais e futuras gerações.

Como recomendações para estudos futuros sugere-se que sejam atualizados os cadastros dos poços e/ou nascentes (SIAGAS) e as outorgas de uso das águas subterrâneas do DRH, de modo a cobrir as lacunas de informações existentes na BHRSM.

Sugere-se também que seja introduzida uma rede de monitoramento das águas subterrâneas que analisem periodicamente as concentrações de nitratos, de sólidos totais dissolvidos e coliforme termotolerantes, que representam os parâmetros mínimos as serem monitorados segundo a Resolução do CONAMA n° 396/2008 e que servirão de base para o enquadramento das águas subterrâneas.

Enfim sugere-se que sejam estudados de forma mais detalhadas as questão referentes à interação rio-aquífero, uma vez que os mesmo não podem ser considerados partes dissociadas de um sistema hidrológico. Isso contribuirá para que se possa elucidar a interação da bacia hidrográfica com a bacia hidrogeológica, que apresentam dimensões dispare. Esse entendimento é fundamental para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos.

Por fim que as captações de águas subterrâneas sejam executadas de acordo com as normas da ABNT, NBR's 12.212 e 12.244/2006 visando a proteção da captação bem como a saúde dos usuários.

Considera-se que as técnicas de geoprocessamento possibilitaram identificar vazios de informações os quais deverão ser.

Esta pesquisa resultou em avanços no conhecimento sobre aquíferos e sua vulnerabilidade em escala de bacia hidrográfica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAS. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Disponível em <http://www.abas.org.br/> acessado em 12/03/2009.

AFFONSO, A.O.; MONSORES, A.L.M. O conflito conceitual entre Águas Subterrâneas e Águas Minerais – Uma contribuição jurídica e técnica para uma gestão integrada entre Recursos Hídricos e Minerais. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, Cuiabá. **Anais...ABAS** (Em CD) 2004.

ALLER, L. *et al.* DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Setting. **National Water Well Association**. Dublin Ohio. EPA, Oklahoma. USA, 1987, EPA-600/2-87-035.

ALLER, L. *et al.* **Drastic: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic setting**. United States: EPA, 1997.

ALMEIDA, C. N. *et al.* SAPO - Um Sistema de Apoio ao Planejamento e Gerenciamento dos Recursos Hídricos. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. ABRH. **Anais...** Belo Horizonte, MG, 28/nov a 01/dez/1999, CD-ROM.

ANA/MMA. BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2007. (Cadernos de Recursos Hídricos, 2).1 CD-ROM. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/Catalogo_Publicacoes/2_volume_2_ANA.pdf, em 20/04/2009.

ARAÚJO L. M.; França A. B.; Potter P. E. Hydrogeology of the Mercosul aquifer system in the Paraná and Chaco-Paraná Basins, South America, and comparison with the Navajo-Nugget aquifer system, USA. **Hydrogeology Journal** 7:317–336. 1999.

AZEVEDO, F.Z.; ALENCASTRE, C.E.N.; RANZANI, A.T.; CRIVELENTI, R.; **Política de recursos hídricos e a gestão das águas subterrâneas: Experiência dos Comitês do Estado de São Paulo**. In: XV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e I Simpósio de

Hidrogeologia Sul-Sudeste. Gramado/RS. Anais Gramado/RS: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas/ABAS, 2007. 1 CD-ROM.

BARRETO, C. E. A. G. **Balanço Hídrico em zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani a partir de monitoramento hidrogeológico em bacia representativa.** Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos/SP, 2006. 149 p.: il. Mais apêndices.

BOTELHO, R. G. M.; GUERRA, A. J. T.; SILVA A. S. DA **Erosão e conservação dos solos:** conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 340p.

BRASIL. Agência Nacional de Águas/ Ministério do Meio Ambiente. Superintendência de planejamento de recursos hídricos. **Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil, e, Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil.** Coordenação geral, João Gilberto Lotuto Conejo; Coordenação Executiva, Marcelo Pires da Costa, José Luiz Gomes Zoby. Brasília-DF: ANA, 2007. 124p.: il. (Cadernos de Recursos Hídricos 5).

BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral/DNPM. **Classificação das águas minerais do Brasil.** 1945.

BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/INPE. **SPRING 4.2 for Windows** disponível em <http://www.dpi.inpe.br/spring> acessado em 15 de março de 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde, **Portaria nº 518** de 25 de março de 2004, 15 p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia, Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais/CPRM, **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas/SIAGAS**, disponível em: <http://siagas.cprm.gov.br/wellshow/result_query.asp?geral=true&grupo=Dados%20Gerais&consulta=UF&critério=Igual%20a&valor=RS&CrtMun=Igual%20a&DscMun=Santana%20do%20livramento&w=1024&h=764 acessado em 08 de Agosto de 2007.

BRASIL. Ministério do Exército. Diretoria de Serviço Geográfico, Dom Pedrito [RS]Folha SH.21-Z-B-V-4 : MI-2993/4 Escala 1:50.000 / 2. ed. [Brasília] 1979 1 carta.

BRASIL. Ministério do Exército. Diretoria de Serviço Geográfico, Torquato Severo [RS]Folha SH.21-Z-D-III-2 : MI-3007/2 : Escala 1:50.000 / 2. ed. [Brasília] 1980 1 carta.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Águas Subterrâneas**: um recurso a ser conhecido e protegido. Brasília. 2007

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente/MMA, Conselho Nacional do Meio-Ambiente/CONAMA. **Resolução CONAMA n ° 396** de 17 de abril de 2008.

_____. **Resolução CONAMA N° 273 de 29/11/2000** "Dispõe sobre prevenção e controle da poluição em postos de combustíveis e serviços", disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res00/res27300.html> acessado em 25 de outubro de 2007.

CAMPONOGARA, I. **Vulnerabilidade natural do Sistema Aquífero Guarani, em Santana do Livramento, RS, com uso de Geotecnologias**. Programa de Pós-Graduação em Geomática, UFSM, Dissertação de Mestrado em Geomática. Santa Maria. (2006 a). 110p.: ilust.

_____. **Vulnerabilidade natural do Sistema Aquífero Guarani e Análise de Parâmetros Físico-Químicos das Águas Subterrâneas em Quarai, BR e Artigas, UY**. Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências, UFSM, Dissertação de Mestrado em Geoinformação e Análise Ambiental. Santa Maria. (2006 b). 108p.: ilust.

CARDOSO, F.B.DA F.; OLIVEIRA, F.R.; VARELLA NETO, P.L.; RANIELLE, N.P.; **Mapa dos domínios hidrogeológicos de Santa Catarina**: uma ferramenta para gestão das águas subterrâneas do estado. In: XV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e I Simpósio de Hidrogeologia Sul-Sudeste. Gramado/RS. Anais Gramado/RS: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas/ABAS, 2007. 1 CD-ROM.

CARRARO, C. *et al.* **Mapa geológico do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Instituto de Geociências/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1974. Mapa n° 8, 29 p.,escala 1: 1.000.000.

CIVITA, M. **Assesment of aquifer vulnerability to contamination**. “Protezione e Gestione delle Acque Sotteranee Mettologie, Technologie e Obbietivi”. Marano sul Panaro, v-3, p. 39-86, 1990.

CLEARY, R. W. **Águas Subterrâneas** disponível em www.clean.com acessado em 28 de abril de 2009.

COMISSÃO AMERICANA DE NOMENCLATURA ESTRATIGRÁFICA (CANE). **Código de Nomenclatura Estratigráfica**. 3ª Ed. Traduzido pela Escola de Geologia da UFRGS. DAEG. 1973.

COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS, CPRM **Mapa de Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos do Brasil**. Escala 1:2.500.000. CPRM, 1 CD – ROM. 2007.

_____. **Mapas Geológicos**. Escala 1:100.000, Anexos 67, 68, 77, 78, 79, 80, 89, 90, 91 e 92. Projeto Borda Leste da Bacia do Paraná Integração Geológica e Avaliação Econômica. 1986.

_____. **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas, SIAGAS**. Disponível em: <http://siagas.cprm.gov.br/wellshow/indice.asp?w=1024&h=764&info=1> Acessado em: 27 Abril 2008.

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução n. 15**, de 11 de janeiro de 2001. Delega competência a SINGRH e dá outras providências. Diário Oficial da União, poder executivo, Brasília, DF, 2001. 03p.

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº. 16**, de 08 de maio de 2001. Estabelece critérios gerais para a outorga de direito de uso dos recursos hídricos. Brasília. 2001.

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº. 22**, de 24 de maio de 2002. Estabelece diretrizes para inserção das águas subterrâneas no instrumento Planos de Recursos Hídricos.. Brasília. 2002.

CORDEIRO NETTO, O. M.; BALTAR, A. M.; PIMENTEL, C. E. B. **Critérios para Outorga de uso da água para irrigação: o caso da bacia do Rio Preto no Distrito Federal – Brasil.** In: SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA (4.: Coimbra), 1999, Coimbra. Comunicações... Coimbra: Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, 1999, 1 CD-ROM.

COSTA, M. L. M. **Estabelecimento de critérios de outorga de direitos de uso para águas subterrâneas.** Dissertação (Mestrado em Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. 2009.

CRUZ, J. C. e SILVÉRIO DA SILVA, J. L. S. **Estudos não publicados.**

CRUZ, R. C. Informações obtidas via *e-mail* de Rafael Cabral Cruz em 13 de setembro de 2009.

DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. de A.; AZEVEDO, A. C. Modificações dos solos em áreas urbanas in: DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C.; PEDRON, F. de A. **Solos & Ambiente – II Fórum.** Santa Maria: Orium, 2006. P. 09 – 25.

DE MORAIS, T. Z. **Simulação da Cobrança para o Investimento em Barragens na Bacia do Rio Santa Maria.** Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

DESCOVI FILHO, L. L. V. *et al.* (2008) **Subsídios Ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do Rio Santa Maria, Rio Grande do Sul.** IN: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas (ABAS). Natal, RN. 2008. p. 1- 18.

ECKERT, R. M.; CAYE, B. R. **Cadastramento de Poços da Cidade de Livramento, RS.** Porto Alegre: CPRM, 1995. Estado do Rio Grande do Sul, Secretaria de Meio Ambiente/SEMA (2009). Disponível em: http://www.sema.rs.gov.br/recursos_hidricos. Visitada em 02/02/2009.

EMBRAPA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2006. 306 p.

FEITOSA, F. A. C.; COSTA FILHO, W. D. **Execução de testes de bombeamento em poços tubulares manual prático de orientação**. Programa Ações Emergenciais de Combate aos Efeitos das Secas. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais em Convênio com a Secretaria dos Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente (1998), Recursos Hídricos. Disponível em http://www.perfuradores.com.br/downloads/material_didatico/CARTILHA_TESTES_BOMBAMENTO.pdf. Acesso em 20/08/2009.

FEITOSA, F. A. C. *et al.* **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. Fortaleza: Serviço Geológico do Brasil (CPRM, LABHID–UFPE), 1997.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Editora Gráfica LCR: Fortaleza, 1997. 389 p.

FORGIARINI, F. R. **Modelagem da cobrança pelo uso da água bruta para aplicação em escala real na bacia do rio Santa Maria**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria, 2006. 142p.

FOSTER, S. S. D. *et al.* **Proteccion de la calidad del agua subterranea**. Guia para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. Edicion en espanol. 2003. 115p.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. **Contaminacion de las aguas subterranas. Organizacao Mundial de la Salud**. Organizacao Panamericana de la Salud, Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias Del Ambiente. Lima, Peru, 1987.

_____. **Determinación de riesgos de contaminación de aguas subterráneas**. CEPIS, Lima, Perú. 1988.

_____. **Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes**. São Paulo: Instituto Geológico, 1993. 92 p.

_____. **Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes**. São Paulo: Instituto Geológico, 1993. (boletim Nº 10).

_____. **GROUNDWATER POLLUTION RISK EVALUATION: THE METHODOLOGY USING AVAILABLE DATA.** LIMA: CEPIS/PAHO/WHO, 1988.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Groundwater quality protection: a guide for water utilities, municipal authorities and agencies.** Washinton: The Word Bank, 2002.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais.** Groundwater Management Advisory GW.MATE WB. 2006.

FRANTZ, L. C. **Avaliação do Índice de Vulnerabilidade do Aquífero Guarani no Perímetro Urbano da Cidade de Santana do Livramento – RS.** Santa Maria/RS. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSM, Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. 2005. 125p.

FREIRE, C. C. **Modelo de gestão para a água subterrânea.** Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Re IPH/ UFRGS. Porto Alegre: 2002. 140 p.

FREITAS, M. A. de; MACHADO, J. L. F. *et al.* **Mapa hidrogeológico do rio grande do sul: Um avanço no conhecimento das águas subterrâneas no estado.** In: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas (ABAS). Cuiabá, MT. 2004. p. 1-14.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA IBGE **Folha SH.22 Porto Alegre e partes das Folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra.** Rio de Janeiro: IBGE, 1986. 796p., 6 mapas,: il. – (Levantamento de recursos naturais; V.33).

GARCEZ, L. N. **Hidrologia.** São Paulo: Edgard Blücher, 1993.

GOLDEN SOFTWARE, INC. **Surfer**, versão 8.0. 2004.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE (SEMA), **Relatório final**: Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: SEMA. 2005. Disponível em www.sema.rs.gov.br acessado em 31 Out 2007.

GREGORASCHUK, J. S. Estudio del uso actual y potencial del acuífero guaraní: enero 2001 - Disponível em <http://www.sg-guarani.org>. Visitada em 02/03/2004.

GUERRA, A. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997. 648 p.

GUERRA, A. J. T. & CUNHA S. B. da **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 2.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998, 372p.

HAUSMAN, A. **Esboço Hidrogeológico do Rio Grande do Sul**. In: Semana de Debates geológicos. Porto Alegre, RS. Centro Acad. Est. Geol, UFRGS. 1965. p.37 –71.

_____. **Províncias Hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul – RS**. Acta Geológica Leopoldensia (Série Mapas, escala 1:50.000), n. 2, 1995. p. 1-127

HEATH, C. R. **Hidrologia Básica de Águas Subterrâneas**. Tradução de Mário Wrege e Paul Potter. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 1983. 84p. Título original: United States Geological Survey, Water Supply Paper 2220.

HEINE, C. A. **Análise de Sustentabilidade de uso do Sistema Aquífero Guarani na Região Urbano-Industrial de Ivoti-RS**. São Leopoldo: UNISINOS, 2008. p. 223.

HIRATA, R.; REBOUÇAS, A. **La protección de los recursos hídricos subterráneos: Una visión integrada, basada en perímetro de protección de pozos y vulnerabilidade de acuíferos**. Boletín Geológico y Minero. Instituto Tecnológico GeoMinero de España. v.110. 1999, 79-92p.

IG/CETESB/DAEE. **Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. IG; CETESB, 1997. 129p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. CIDADES@. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>> acessado em 28 de outubro de 2007.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Software Livre **SPRING 4.3 (português)**. KALF e WOOLLEY (2005).

JORGENSEN, D. G. et al. **Aquifer Systems underlying Kansas, Nebraska, and Dakota, Texas and Wyoming** – Geohydrologic framework. U.S. Geological Survey, Professional Paper, 1414-B, 1993. 238 p.

KALF, F. R. P., WOOLLEY, D. R. **Applicability and methodology of determining sustainable yield in groundwater systems**. Hydrogeology Journal, 13.(1): 295-312. 2005.

LANDIM, P.M.B.; MONTEIRO, R. C.; CORSI, A. C. **Introdução à confecção de mapas pelo software Surfer®**. Geomatematica, Texto Didático 8, DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, 2002. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 12 de Abril de 2007.

LANEY, R. L.; DAVIDSON, C. R. **Aquífer-nomenclature guidelines**. U.S. Geological Survey, Open-file Report, 86-534, 1986. 46 p.

LANNA, A. E. L. **Cap 1: Introdução**. In: PORTO, R.L.L. (Org.) Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos. Porto Alegre: Ed. da Universidade – UFRGS / ABRH. 1997.

LISBOA, N. A. **Fácies, Estratificações hidrogeoquímicas e seus controladores geológicos, em unidades hidrogeológicas do Sistema Aquífero Serra Geral na Bacia do Paraná, RS**. Tese de doutorado. UFRGS. 1996. 135p.

LOBO-FERREIRA J. P. C. **Vulnerabilidade à poluição de águas subterrâneas: fundamentos e conceitos para uma melhor gestão e proteção dos aquíferos de Portugal**. 1998. disponível em http://www.dha.lnec.pt/nas/textos/novidades/GIS_vulner.html acessado em 25 de outubro de 2007.

MACHADO, J. L. F. **Mitos e verdades do Aquífero Guarani.** CONSELHO em Revista/CREA/RS. Junho/Ano I nº10. 2005.

MACHADO, J. L. F. **Compartimentação Espacial e arcabouço Hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul.** Programa de Pós-Graduação em Geologia, Tese de Doutorado UNISINOS, São Leopoldo, 2005 p.237.

MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. A. de. **Projeto Mapa hidrogeológico do Rio Grande do Sul:** mapa – Porto Alegre, CPRM: 2005a.

_____. **Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul:** relatório final. Porto Alegre: CPRM, 2005b. 65p.: il.

MACIEL FILHO, C. L. **Introdução à geologia de engenharia.** 3ed. Santa Maria: Ed. Da UFSM, 2008. 310 p. il.

MARGAT, J. 1968: **Groundwater vulnerability to tamination.** BRGM, 68 sgl 198, HYD, Orleans, France.

MATTHEß, G. **Die Beschaffenheit des Grundwassers – Lenhrbuch der Hydrogeologie.** Berlin-Stuttgart, Gebrüder Bornträger, vol. 2. 1973.

MAXEY, G. B. **Hydrostratigraphic Units.** Journal of Hydrology, v-2 p.124-129, 1964.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, MMA, SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTE URBANO, SRHU, **Águas subterrâneas, um recurso a ser conhecido e protegido.** Brasília. 2007. 38p.

_____. **Conjunto de normas legais:** recursos hídricos – 6. ed. – Brasília: MMA, 2008. 466 p.

NORONHA, L. C. Com boa gestão, não faltará água. In: BARROS FILHO, O. L.; BOJUNGA, S. (org.) **Tempo das águas**. Porto Alegre: Laser Press Comunicação, 2006. p.15-39.

OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. de **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. 587 p.

OLIVEIRA, F. R. das; CARDOSO, F. B. da F.; VARELLA NETO, P. L. Panorama da gestão integrada água subterrânea/água superficial no Brasil. In: XV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e I Simpósio de Hidrogeologia Sul-Sudeste. Gramado/RS. Anais Gramado/RS: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas/ABAS, 2007. 1 CD-ROM.

PACHECO, A.; REBOUCAS, A. C. Aspecto de uso e preservação das Águas Subterrâneas da Grande São Paulo. In **ANAIS DO IIº CONGRESSO BRASILEIRO**. p. 389-401. 1982. Salvador. Anais... Salvador. 1982.

PAVÃO, A. D. M. **Avaliação do índice de vulnerabilidade na bacia hidrográfica do rio Santa Maria – RS**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria, 2004. 107p.

PÉREZ, A.; ROCHA, L. **Aportes al conocimiento Del Acuífero Guaraní**. Área Ciudad de Rivera-Uruguay. Grondwater and Human Development (OSE, Obras Sanitárias del Estado, Uruguay) Pp. 598 – 605. 2002.

PNRH (2006). BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Híricos. Plano Nacional de Recursos Hídricos. Brasília: MMA, 2006. 4 volumes. (Edição Especial de Lançamento). Disponível em <http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/Catalogo_imgs/PNRH_EdicaoEspecialDeLancamento.rar>, em 20/04/2009.

POLAND, J. F. et al. **Glossary of selected terms useful in studies in the mechanisms of the aquifer systems and land subsidende due to fluid wthdrawal**. U.S. Geological Survey, Water-Supply Paper, n. 2025, 1972. 9 p.

PORTO, R. L.; BOMBONATO NETO, C.; LISBOA NETO, H.; *et al.* (1999). Sistema de Suporte a Decisões para a Operação dos Grandes Sistemas Produtores da Sabesp. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 1999, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABRH, 28/nov a 01/dez/1999, CD-ROM.

PRESOTTO, C. A.; DIAS, A.; KIRCHNER, A.; GARCIA, P. F. **Projeto Hidrogeologia da Fronteira Sudoeste do Rio Grande do Sul**. Relatório Final. Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais. Porto Alegre: CPRM, 1973. 263p.

Projeto de Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani/PSAG. disponível em <<http://www.sg-guarani.org.br> acesso em: 18 de Março de 2009.

_____. **Manual de perfuração de poços tubulares para investigação e captação de água subterrânea no “Sistema Aquífero Guarani”** Primeira Edição, Montevideo, 2007 p.176

RAMOS, *et al.* **Gestão de águas subterrâneas: experiência do Estado de Minas Gerais**. In: XIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços I Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste. Petrópolis RJ, p. 99-112. 2003.

RAVANELLO, M. M. **Análise técnica, legal e social para subsídios à outorga de direito de uso dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Ibicuí – RS**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria, 2007. 123p.

RAY I.A., ODELL P.W. (1993) **DIVERSITY**: a new method for evaluating sensitivity of groundwater to contamination. *Environ Geol* 22:344–352.

REBOUÇAS, A. C., Condições de uso e proteção das águas subterrâneas. In Seminário ABAS, ABGE e SBPC/SP. **Problemas geológicos e geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo**. São Paulo, 08 a 10 de abril de 1992.

_____. **Recursos hídricos subterrâneos da Bacia do Paraná: Análise de pré- viabilidade**. Tese de Livre Docência Universidade de São Paulo, 143 p. 1976.

REBOUÇAS, A. C.; BENEDITO, B.; TUNDISI, J. G. **Águas Doces do Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. São Paulo: Ed. Escrituras, 1999.

REBOUÇAS, A. C.; AMORE, L. **O SISTEMA AQÜÍFERO GUARANI – SAG**. Rev. Águas Subterrâneas no 16/ Maio 2002. p.135 – 143.

RIBEIRA, F. **Calidad, contaminación y protección de acuíferos** in III Curso Hispanoamericano de Hidrología Subterránea. 4 de octubre al 3 de diciembre de 2004, Montevideo-UY.

RIBEIRO, M. M. R. **Alternativas para a outorga e a cobrança pelo uso da água: simulação de um caso**. Tese (Doutorado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2000.

RIBEIRO, M. M. R.; LANNA, A. E. **Instrumentos regulatórios e econômicos: aplicabilidade à gestão das águas e à Bacia do rio Pirapama-PE**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 6, n. 4, p. 41-70, 2001.

ROCHA, R.A. **O Grande Manancial do Cone Sul**. Estudos Avançados. USP. Vol.11: p.191-212. 1997.

Santana do Livramento, **Lei Municipal nº 2.659 de 04 de julho de 1990**. Concede ao DAE o direito de perfurar poços em Santana do Livramento.

SANTOS, M. do C. S. R dos, **Manual de fundamentos cartográficos e diretrizes gerais para elaboração de mapas geológicos, geomorfológicos e geotécnicos**. São Paulo: IPT, 1990.

SECRETARIA GERAL DO PROJETO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL SG-PSAG disponível em www.sg-guarani.org acessado em 20 de maio de 2008.

SECRETARIA GERAL DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI disponível em <http://www.sg-guarani.org/index/pdf/proyecto_particular/pilotos/rivalivramento/PGL-Rivera-Santana.pdf> acessado em 27 de outubro de 2007.

SEMA, Secretaria Estadual do Meio Ambiente. DRH, Departamento de Recursos Hídricos, (2003) **MAPA DO RIO GRANDE DO SUL**, Divisão Municipal e Bacias Hidrográficas. SEMA/DRH: Fevereiro de 2003.

SILVÉRIO da SILVA *et al.*, (2006). **Estudo de áreas de recarga e descarga do Sistema Aquífero Guarani em Rivera/Santana e Quaraí/Artigas**. Estudo da vulnerabilidade em Quaraí/Artigas. Relatório Final. Secretaria eral/Organização dos Estados Americanos - SG/OEA. UFSM/UdeLaR, 2006. Disponível em [http://www.sg-guarani.org/texto completo em pdf e resumo executivo \(Português, Español e Inglês\)](http://www.sg-guarani.org/texto_completo_em_pdf_e_resumo_executivo_(Português,_Espanhol_e_Inglês)).

_____. **Caracterização de áreas de recarga e descarga do SAG em Rivera/Santana e Quaraí/Artigas. Estudo da vulnerabilidade na região de Quaraí/Artigas**. Projeto nº10 Fundo das Universidades PSAG. <http://www.sg-guarani.org/> Fundo das Universidades. Texto completo (151 p., 2 v.) e Resumo executivo Português, Espanhol e Inglês. 2006.

_____. **Caracterização de áreas de recarga e descarga do SAG em Rivera/Santana e Quaraí/Artigas. Estudo da vulnerabilidade na região de Quaraí/Artigas**. Aquífero Guarani – Avanços no conhecimento para sua gestão sustentável. Fundo das Universidades. 61 – 75. 2007.

SILVÉRIO da SILVA, J. L.; DRESSLER, V. L.; RIFFEL, E. S.; SANTIAGO, M. R.. **Ocorrências anômalas de flúor em águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani no Estado do Rio Grande do Sul**. In: V Seminário Latino-americano e I Seminário Ibero-americano de Geografia Física. Santa Maria, RS. 2008. p. 623-639.

SILVÉRIO da SILVA, J. L.; MAZIERO, L.; SANTOS, E. F. Dos. **Impactos da atividade humana sobre o solo** – Aquíferos. in Anais do I Fórum Solos e Ambiente, UFSM, Santa Maria/RS. Pallotti, 2004. p. 145-167.

Todd, D. K. **Groundwater hydrology**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1980. 535 p.

TOPODATA – **Banco de dados Geomorfométricos do Brasil**. Disponível em <www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php> acessado em 23/06/2009.

TUCCI, C. E. M. **Hidrografia: ciência e aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2002. 843p.

UFCG; UFSM e UFAL (2009). Projeto ASUB – **Integração dos instrumentos de outorga, enquadramento e cobrança para a gestão das águas subterrâneas** – Relatório 1 - Chamada Pública MCT/FINEP/CT-HIDRO IGRH 01/2007, processo institucional CNPq/CT-HIDRO 52.0129/2008-3. Universidade Federal de Campina Grande, Universidade Federal de Santa Maria e Universidade Federal de Alagoas.

UFSM/SEMA (2004). **Desenvolvimento de ações para implantação de Outorga na Bacia do Rio Santa Maria – Relatório Técnico 1**. Convênio SEMA-FRH/RS-UFSM-RS nº 02/01. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria/RS, 186 p.

UFSM e UFCG (2008). **Simulação para aplicação da cobrança em escala real. Volume 1: relatório técnico do projeto**. Chamada Pública MCT/FINEP/CTHIDRO-GRH 01/2004. Convênio FATEC/UFSM/FINEP nº. 01.041052.00. Universidade Federal de Santa Maria e Universidade Federal de Campina Grande.

VAN STEMPVOORT, D.; EWERT, L. **AVI: A method for groundwater protection mapping in the Prairie, Provinces of Canada**. Saskatchewan. 1994.

VRBA Y ZAPARAZEC, 1994: **Guidbook on Mapping Groundwater Vulnerability International Association of Hydrogeologists**. Vol. 16. ISBN 3-922705-97-9

WANDSCHEER, E. A. R.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; BERRO, S. V. **Avaliação da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria – RS**. In: V Simpósio Nacional de Geomorfologia I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia. Santa Maria, RS. 2004. p. 01-13.

WURBS, R. A.; DUNN, D. D. **Water Rights Analysis Package (WRAP) Model Description and users manual**. In: Texas Water Resources Institute. Project nº 6. Oct., 1996.

ZINGONO, A. **SURFER para Windows – Guia de consulta**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS, Departamento de Engenharia de Minas, Laboratório de Pesquisa Mineral e Planejamento Mineiro/LPM. 2004. 21 p.

ANEXOS

ANEXO A – BANCO DE DADOS HIDROGEOLÓGICOS E SIG-BHRSM

ANEXO B – PRIMEIRA SIMULAÇÃO DOS STD PARA BHRSM

SUBSÍDIOS AMBIENTAIS PARA O ENQUADRAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA MARIA – RIO GRANDE DO SUL

Leonidas Luiz Volcato Descovi Filho¹¹; José Luiz Silvério da Silva¹²; Francisco Rossarolla Forgiarini¹³; Geraldo Lopes da Silveira¹⁴

Resumo - Este trabalho apresenta estudos preliminares realizados na bacia hidrográfica do rio Santa Maria localizada no sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul. Sua importância reside em ser uma área de importante uso na irrigação da cultura do arroz e pecuária extensiva. Faz parte da zona de afloramentos do Sistema Aquífero Guarani junto à fronteira com o Uruguai. Realizou-se inicialmente um levantamento dos poços existentes no sítio do sistema de informações SIAGAS, da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, onde se cadastraram 745 poços e/ou nascentes pertencentes a seis municípios. Buscando-se subsídios para a gestão integrada das águas superficiais e subterrâneas foram estudadas as concentrações de Sólidos Totais Dissolvidos/ STD enquadrados na Resolução CONAMA nº396/2008. Utilizou-se o programa SURFER 8.0 para a espacialização de 339 poços, os quais apresentavam informações de Condutividade Elétrica transformada em STD. Sobrepondo-se aos Planos de Informações já existentes representados pelos divisores de água no Programa ArcGis 9.0, exportados para o programa SPRING 4.2 editando-se os mapas. Dos poços pesquisados penetraram apenas um aquífero 159 ocorrências, destes apenas 05 apresentaram STD > 1.000.000 ($\mu\text{g.L}^{-1}$). A espacialização dos STD obtida em Sistema de Informações Geográficas evidenciou a ampla ocorrência de águas enquadradas na classe 1.

¹¹ PPGEC/CT/UFSM: Avenida Roraima, 1000 Prédio 17 Sala: 1605 CEP: 97150-900. (55)3220-8638, (55)3220-8207, leonprs@gmail.com

¹² Depto. Geociências e PPGEC/CT/UFSM: Avenida Roraima, 1000 Prédio 17 Sala: 1605 CEP: 97150-900. (55)3220-8638, (55)3220-8207, silverio@smail.ufsm.br

¹³ IPH/UFRGS: Av. Bento Gonçalves, 9500 - CEP 91501-970 Caixa Postal 15029. (51)33086327;(51)93414735, francisco_forgiarini@yahoo.com.br

¹⁴ Depto. de Hidráulica e Saneamento e PPGEC/CT/UFSM: Avenida Roraima, 1000 Prédio 10 CTCLAB Sala: 539B CEP: 97105-900 (55)99716939;(55)32208886, geraldo.ufsm@gmail.com

Abstract - This paper presents preliminary studies carried out in the basin of the *Santa Maria* river located in the southwestern state of *Rio Grande do Sul, Brazil*. Its importance is in relation with irrigation cultivation and cattle. It is part of the outcrops zone of the Guarani Aquifer System near the border with Uruguay. There was initially a survey of existing wells at the site of the information system, that belongs to the *Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais*, which signed up 745 wells and / or sources belonging to six municipalities. Seeking subsidies for the integrated management of surface and groundwater were studied the concentrations of Total Dissolved Solids / TDS framed in Resolution N°. 396/2008. It was used the SURFER 8.0 software for the spatialization of 339 wells, which presented information converted into electrical conductivity to TDS. Overwriting to the plans of existing information represented by divisors of water were used ArcGis 9.0, exported to the SPRING 4.2 software and editing the thematic map. Circa the 159 wells penetrated only one aquifer, and only 05 of these had TDS >1000000 ($\mu\text{g.L}^{-1}$). The spatialization of TDS obtained in Geographic Information System showed the wide occurrence of water framed in class 1.

Palavras-chave: Aquíferos, STD, SIG.

1 - INTRODUÇÃO

A água, elemento essencial à manutenção da vida no Planeta, componente chave do ciclo hidrológico, representa um recurso no momento em que, de alguma forma, serve à humanidade através de seus múltiplos usos, vem sendo paulatinamente inserida nas normatizações de forma a controlar para sua gestão racional e sustentável, visando a saúde das populações.

A distribuição dos recursos hídricos é desigual no espaço. Estima-se que dentre os (31,10%) de águas doces disponíveis no planeta, a água subterrânea perfaz aproximadamente 96%, sendo o restante, 4% composto por águas superficiais MMA (2007). A partir destes números observa-se a importância dos recursos hídricos subterrâneos, muitas vezes pouco conhecidos.

No Estado do Rio Grande do Sul algumas localidades já vêm apresentando problemas de contaminação de origem antropogênica das águas superficiais. Tanto de origem inorgânica, na forma de metais pesados e/ou outros contaminantes, bem como, de caráter orgânico oriundos da baixa taxa de tratamento dos esgotos nas cidades. Uma vez que o estado ainda apresenta uma forte vocação agrícola, é extremamente dependente da utilização de

fertilizantes e agroquímicos, os quais podem ser fontes difusas de contaminação dos recursos hídricos. Acrescente-se a isso as recentes estiagens de duração prolongada, no período de verão (Dezembro a Março) nos anos de 2005 e 2006, necessitando-se ampliar os programas de perfuração de poços, visando a dessedentação humana e/ou animal o que vem resultando numa maior quantidade de poços perfurados em áreas urbanas e rurais.

A bacia hidrográfica do rio Santa Maria/BHRSM é formada por seis municípios, nos quais a agricultura irrigada do arroz apresenta um forte componente econômico e ambiental. Na área compreendida por esta bacia, foram executadas diversas pesquisas que enfatizaram os recursos hídricos subterrâneos em escala regional e/ou local destacando-se: Hausman (1965), Presotto et al. (1973), Eckert e Caye (1995), Hausman (1995), Lisboa (1996), Pavão (2005), Frantz (2005), SEMA/CPRM (2005), Machado (2005), Silvério da Silva et al. (2006 e 2007), Camponogara (2006). Com relação aos recursos hídricos superficiais foram estudados por: De Moraes (2005), Ravanello (2007). Por outro lado, Silveira et al. (2003) e Forgiarini (2006) realizaram interações entre os recursos hídricos superficiais e os subterrâneos de acordo com as propostas contidas na Resolução CNRH 15 (2001) visando à gestão integrada das águas superficiais, subterrâneas e meteóricas.

Desta forma, com o presente trabalho, pretendeu-se avaliar qualitativamente os recursos hídricos subterrâneos na bacia hidrográfica do rio Santa Maria, objetivando fornecer subsídios ao enquadramento, a outorga e a cobrança para gestão integrada destes com os recursos hídricos superficiais de forma sustentável. Esta bacia encontra-se localizada na região sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul, como pode ser observada na figura 1.

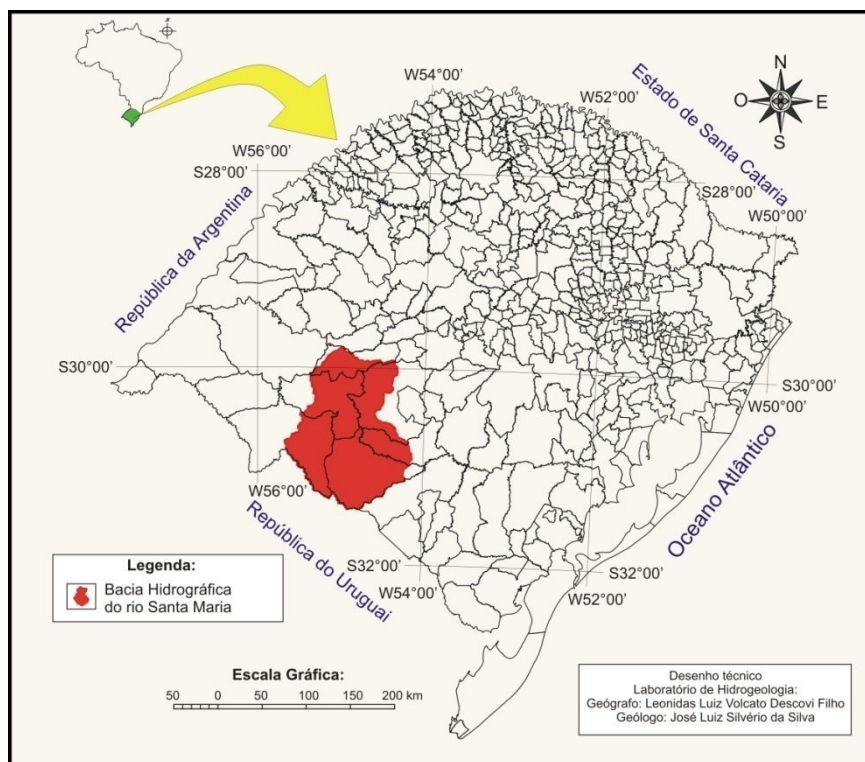


Figura 1. Mapa de localização da BHRSM.

Orgs.: SILVÉRIO DA SILVA, J. L., DESCOVI FILHO, L. L. V., 2008.

Esta bacia apresenta uma área de 15.797,2807 km². Abrangendo parte de seis municípios do sudoeste Riograndense, ou seja: Santana do Livramento (43,40%) do total, Lavras do Sul (47,71%), São Gabriel (48,54%), Cacequi (48,91%), Rosário do Sul (69,95%) e Dom Pedrito (94,10%) de suas áreas inseridas na bacia. Na classificação da Secretaria Estadual do Meio Ambiente/SEMA, Departamento de Recursos Hídricos/DRH, esta bacia hidrográfica denomina-se (U-70), uma vez que ela faz parte da região hidrográfica do rio Uruguai (U).

A área em estudo reveste-se de grande importância no uso tanto dos recursos hídricos superficiais, bem como, dos recursos hídricos subterrâneos, já que esta faz parte da zona de afloramentos do Sistema Aquífero Guarani/SAG junto da fronteira com o Uruguai. O SAG de acordo com Araújo et al. (1999) e SG-PSAG (2008) faz parte de quatro países do Mercosul, ocupando uma parcela das áreas de: Argentina (225.500 km²), Paraguai (71.700 km²), Uruguai (58.500 km²) e no Brasil (840.000 km²). A área de ocorrência do SAG é de aproximadamente 1.200.000 km², abrangendo várias bacias hidrográficas e inclusive parte de oito estados brasileiros: Rio Grande do Sul (157.600 km²), Santa Catarina (49.200 km²), Paraná (131.300 km²), São Paulo (155.800 km²), Mato Grosso do Sul (213.200 km²), Minas Gerais (51.300 km²), Goiás (55.000 km²) e Mato Grosso (26.400 km²).

Tendo em vista as dimensões do SAG e ainda devido sua importância transfronteiriça, foram estabelecidas quatro áreas com projetos pilotos (Salto/UY-Concórdia/AR; Itapua/PY;

Santana do Livramento/BR-Rivera/UY e Ribeirão Preto/BR) para sua gestão integrada e sustentável. No Brasil os projetos pilotos são: Ribeirão Preto no Estado de São Paulo, com uma população de 547.417 habitantes IBGE (2008), que apresenta problemas de sobreexploração e baixa taxa de saneamento. Outra área piloto, situa-se na fronteira seca entre o Brasil e o Uruguai, nas cidades de Rivera/Santana do Livramento, a qual apresenta uma população aproximada de 150.000 habitantes SG-PSAG (2008), IBGE (2008), ocupando uma zona de afloramentos do SAG considerados por Silvério da Silva et al. (2007), áreas de recarga e descarga.

O Projeto Piloto Santana/Rivera enfrenta problemas relacionados como a baixa taxa de saneamento básico, podendo ocorrer localmente a sobreexploração de águas subterrâneas na zona urbana dessas cidades. Salienta-se que esta população é abastecida em cerca de 70% de seu consumo por poços tubulares que extraem águas do SAG, operados pelo Departamento de Águas e Esgotos/DAE e pela *Obras Sanitárias del Estado/OSE/UY*. Segundo Eckert e Caye (1995) e Silvério da Silva et al. (2006 e 2007) estes poços de abastecimento apresentam uma profundidade média da ordem de 100 metros, muitos deles apresentando nível estático próximo à superfície e ainda com concentrações de nitratos, próximo aos valores máximos permissíveis pela Portaria MS 518/2004 e pela Resolução CONAMA nº 396/2008.

A bacia em estudo apresenta poucas indústrias implantadas, as existentes nos cadastros pesquisados por Forgiarini (2006) são: Cerealistas 20, Cooperativa Rural 1, Vinícolas 2 e Laticínios 1, abastecidas pelo sistema público como a Companhia Riograndense de Saneamento/ CORSAN e uma autarquia Municipal o Departamento de Águas e Esgotos/DAE em Santana do Livramento. Algumas destas indústrias possuem seus próprios poços tubulares para abastecimento, muitos ainda não outorgados pelo DRH/SEMA/RS.

O município de Santana do Livramento de acordo com SEMA (2003), faz parte de três bacias hidrográficas, (U-50) do rio Ibicuí; (U-60) do rio Quarai e ainda a (U-70) do rio Santa Maria todas pertencentes à Região Hidrográfica do Uruguai. De acordo com Eckert e Caye (1995) as principais atividades econômicas em Santana do Livramento são a agropastoril, a industrial e a comercial. Os principais produtos de origem primária são: o arroz, a soja, os vinhedos, o milho enquanto que na pecuária destacam-se os rebanhos de bovinos, ovinos e nos agronegócios a produção de lãs e couros. Na produção secundária destacam-se as atividades de produção de carne, derivados de couro e lãs, produtos alimentícios, a vitivinicultura e os produtos minerais não metálicos (pedreiras/saibreiras). Uma vez que nesta região existe um *Freeshop* ela recebe uma grande quantidade de turistas apresentando um número de estabelecimentos comerciais da ordem de: (17) hotéis, (03) pensões, (02)

pousadas, (02) agências de câmbio, (06) agências de viagens, (10) clubes sociais, (14) restaurantes, (04) churrascarias, (06) cafés coloniais, (33) supermercados, (108) estabelecimentos de ensino. Em relação aos pontos potenciais de contaminação das águas subterrâneas, o número de postos de combustíveis Frantz (2005) e Silvério da Silva et al. (2006) citaram a ocorrência de vinte e três do lado brasileiro e, de apenas três em Rivera no lado Uruguaio. De acordo com informações do facilitador do Piloto Rivera/Santana do Livramento do PSAG, Achylles Bassedas Costa (2008), existem do lado brasileiro 09 clubes com piscinas, sendo que o abastecimento de água subterrânea natural (apresenta temperatura entre 18 e 23 °C) são fontes frias: o Clube Santa Rita, o Clube Caixeiral, o Clube Campestre, o Clube Cruzeiro, o Clube localizado no 7º RCMEC (Quartel), o Clube dos Sub-Tenentes e Sargentos e ainda o Livramento Tênis Clube. São abastecidos com fontes aquecidas, ou seja, contam com piscinas térmicas: o Esporte Clube 14 de Julho e o Livramento Tênis Clube, todas explorando águas de zonas de afloramento do SAG.

Na Bacia Hidrográfica (U-70), encontram-se cadastrados, no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas/SIAGAS da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/CPRM, um total de 745 poços e/ou nascentes, avaliados até o mês de maio de 2008 durante a execução desta pesquisa.

A população residente nos seis municípios componentes da BHRSM, vem decrescendo devido à migração para centros com maiores possibilidades e oportunidades para emprego, renda salarial e formação profissional. Segundo o censo de 2000 a população era de 257.745 habitantes, dados da contagem populacional de 2007, estimou-se uma população de 241.858 habitantes IBGE (2008). Porém como a bacia não abrange a totalidade da área dos seis municípios que dela fazem parte, estimou-se que ela apresenta uma população de aproximadamente 200.000 habitantes. O êxodo populacional vem acontecendo devido à falta de oportunidades de emprego na região da fronteira do Brasil com o Uruguai.

Buscou-se neste trabalho uma melhor elucidação das unidades hidroestratigráficas presentes nesta bacia, bem como, estabelecer subsídios para o enquadramento destas águas subterrâneas através do estudo de suas propriedades físico-químicas em relação à concentração dos sólidos totais dissolvidos, contido nas águas presentes nos diferentes aquíferos, confrontando-os com os padrões estabelecidos na Resolução CONAMA nº 396/2008.

Esta resolução dispõe sobre a classificação e fornece diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas, e ainda, considerando que os aquíferos se apresentam em diferentes contextos hidrogeológicos e podem ultrapassar os limites dos divisores das

bacias hidrográficas. E ainda que as águas subterrâneas possuam características físicas, químicas e biológicas intrínsecas, com variações hidrogeoquímicas, sendo necessário que as suas classes de qualidade sejam pautadas nestas especificidades, avaliando-se inclusive os usos preponderantes na bacia. Em seu anexo II os padrões são expressos por classe-concentração ($\mu\text{g.L}^{-1}$). Adota ainda o Valor de Referência de Qualidade/VRQ: a concentração ou o valor de um dado parâmetro que define a qualidade natural da água subterrânea.

2 – CARACTERIZAÇÃO

2.1 - Caracterização geológica

As unidades litoestratigráficas reconhecidas nos levantamentos exploratórios e mapeamentos elaborados até o ano de 2004 identificavam as seguintes unidades ilustradas no quadro 1.

Unidades Litoestratigráficas aflorantes na BHSM	Era/Idade	Área em (km ²)	(%) da área total da bacia
Depósitos aluvionares recentes	Quaternário	3401,7650	21,53
Terraços subatuais inconsolidados	Quaternário	129,5475	0,82
Eluvião e/ou coluvião	Quaternário	267,5600	1,69
Formação Santa Tecla	Terciário	41,1175	0,26
Formação Serra Geral	Juro-Cretáceo	205,3650	1,30
Formação Botucatu	Jurássico	800,4150	5,07
Formação Rosário do Sul	Triássico	4924,0000	31,17
Formação Rio do Rasto	Paleozóico	1488,5200	9,42
Formação Estrada Nova	Paleozóico	298,8700	1,89
Formação Estrada Nova + Fm. Irati (indivisos)	Paleozóico	952,9825	6,03
Formação Irati	Paleozóico	45,3425	0,29
Formação Palermo	Paleozóico	137,4050	0,87
Formação Rio Bonito	Paleozóico	574,4175	3,64
Formação Itararé	Paleozóico	62,9475	0,40
Formação Cambai, Complexo Granito-Gnáissico, Complexo Gnáissico-Migmatítico	Pré-Cambriano	2529,4725	16,02

Tabela 1. Unidades Litoestratigráficas aflorantes na bacia hidrográfica do rio Santa Maria.

Fonte: CPRM, 1986, SILVEIRA et al. 2003, PAVÃO, 2004.

Deste quadro nota-se que cerca de (36,24%) da área total da BHSM compreende afloramentos de arenitos do SAG (Formação Rosário do Sul + Formação Botucatu).

2.2 - Caracterização hidrogeológica

A bacia hidrográfica do rio Santa Maria apresenta de acordo com a subdivisão proposta por Hausman (1995) três províncias hidrogeológicas (Escudo, Gondwânica e Basáltica)

subdivididas em oito sub-províncias (Cristalina, Cretáceo-Paleozóica, Permo-Carbonífera, Rosário do Sul, Botucatu, Planalto, Borda do Planalto e Cuesta). Não considerando os sedimentos inconsolidados Quaternários os quais apresentam uma espessura média de dez a no máximo cinquenta metros CPRM (1986). Esses são importantes associados às planícies aluviais dos rios Santa Maria, Ibicuí da Cruz, Ibicuí da Armada, Cacequi e outros. Estas planícies aluviais servem para o cultivo do arroz irrigado, sendo amplamente utilizado o bombeamento das águas de rios e arroios.

Na idéia de Freitas et al. (2004), entende-se por sistemas hidrogeológicos um conjunto de unidades litoestratigráficas que apresentam um comportamento hidrogeológico semelhante. A área em estudo apresenta sete sistemas de acordo com Freitas et al. (2004): os Aquíferos Fissurais do Escudo Cristalino constituídos por (rochas ígneas e metamórficas fraturadas); os Aquíferos Porosos Permianos (formações areníticas Rio Bonito e Grupo Itararé); os Aquíferos Porosos Triássicos (às formações arenosas Pirambóia e Sanga do Cabral); os Aquíferos Porosos Eo-Cretáceos (às formações areníticas Guará e Botucatu); os Aquíferos Fissurais Serra Geral (derrames de rochas vulcânicas) e os Aquíferos Porosos Cenozóicos Aluvionares (depósitos aluvionares recentes depositados em planícies aluviais). A figura 2, ilustra um esboço preliminar da seção hidrogeológica NW-SE na BHRSM, a partir do uso dos sistemas propostos por Freitas et al. 2004.

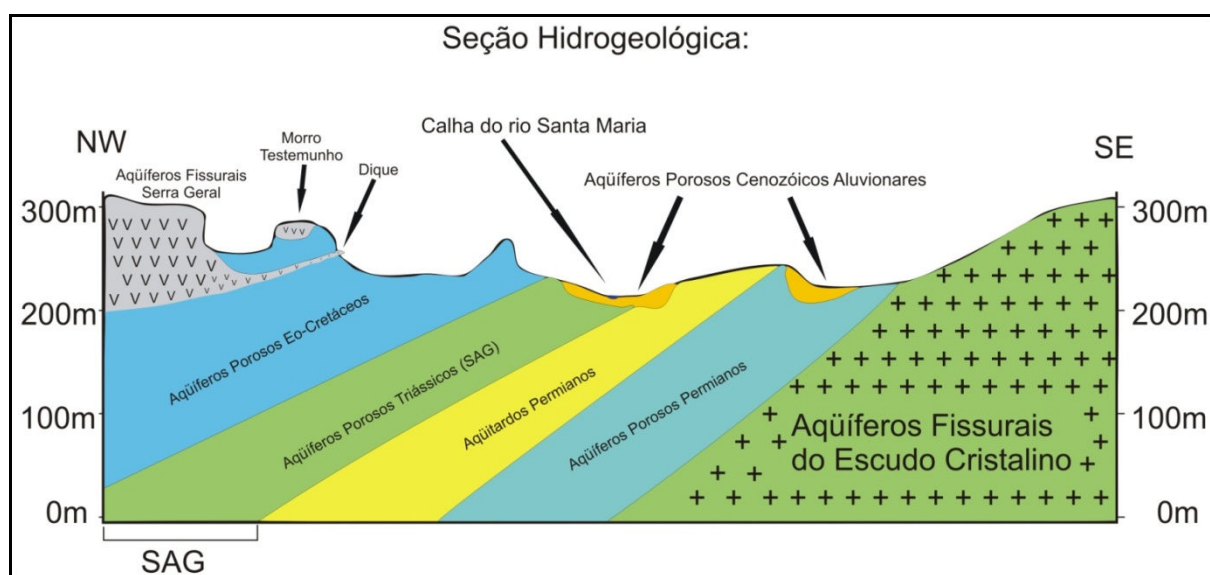


Figura 2. Esboço preliminar da hidrogeologia de um perfil NW- SE, na BHRSM. Org.: SILVÉRIO DA SILVA, J. L., DESCOVI FILHO, L. L. V., 2008, adaptado de Freitas et al. 2004.

Já Machado (2005) apud (Maxey 1964), propôs que as unidades hidroestratigráficas, que o referido autor definiu como “corpos de rocha com extensão lateral considerável compondo um arcabouço geológico que funciona razoavelmente como um sistema hidrológico distinto”. Recentemente, estudos realizados por Machado (2005), definiram nove unidades hidroestratigráficas para o Sistema Aquífero Guarani no Estado do Rio Grande do Sul, entre elas (Pirambóia, Sanga do Cabral, Passo das Tropas 1 e 2, Alemoa, Caturrita, Arenito Mata, Guará e Botucatu) as quais encontram-se aflorantes na BHRSM.

Com base no mapa hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul realizado pela CPRM (2006), foram cadastrados na bacia hidrográfica do rio Santa Maria de acordo com SIAGAS/CPRM (2008) cerca de 745 poços e/ou nascentes.

2.3 - Características físicas gerais da bacia

A paisagem da bacia em questão, encontra-se sobre três grandes compartimentos distintos: o Escudo Uruguaio Sul-Rio-Grandense (de constituição cristalina antiga), a Depressão Central (constituída por rochas sedimentares de idade variável Permo-Triássicas a Quaternário e o Planalto constituído por rochas vulcânicas de caráter ácido e básico).

Segundo o mapeamento fitogeográfico proposto pelo IBGE (1986), no projeto RADAMBRASIL, encontram-se três grandes regiões fitoecológicas na BHRSM: a Savana, a Estepe e a Savana Estépica.

A Savana também conhecida como campo, encontra-se em menor quantidade, nas porções nordeste da bacia, onde o relevo apresenta-se geralmente aplainado, e a vegetação aí presente é constituída de gramíneo-lenhosa, com variações, nunca desconstituída de árvores. A região de estepe ou campanha associa-se à depressão do rio Santa Maria. Já a região da Savana Estépica, também conhecida como campanha, ocupa terrenos de origem arenítica, junto ao divisor de águas a oeste da bacia em estudo, coincidindo com a borda oriental do Planalto da Campanha IBGE (1986).

De acordo com Hausman (1995), que adotou o sistema de Köppen, pode-se classificar a bacia em estudo em dois tipos essenciais de clima, o Cfa_h e o Cfa_k. Ambos são temperados quentes ou mesotermiais, tipo fundamental, mesotermal sem estação seca, e grupo subtropical com verões quentes. O primeiro representa a maior porção, entorno de 75% da área estudada, com invernos moderados, e temperatura média anual superior a 18°C. Já o segundo, apresenta inverno frio, com temperatura média anual inferior a 18°C.

Segundo Eckert e Caye (1995) o clima é Temperado Tropical, apresentando uma faixa de variação de precipitação entre 1500 a 1600 mm/ano. Apresenta ainda uma temperatura

média anual em torno dos 18°C, com mínima média próximo dos 12°C e máxima média em torno dos 23°C, podendo apresentar temperaturas negativas no período de outono-inverno com geadas.

3 - METODOLOGIA

Através do uso de informações sobre poços disponíveis no Sistema de Informação de Águas Subterrâneas SIAGAS/CPRM por unidade da federação (municípios), encontrou-se cadastrados cerca de 745 poços e/ou nascentes para os municípios de Lavras do Sul nenhuma ocorrência; Dom Pedrito (5); Cacequi (74); Rosário do Sul (99); São Gabriel (104); Santana do Livramento (463). Deste total não houve separação por bacia hidrográfica de cada município faz parte, cita-se o exemplo de Santana do Livramento parte de três bacias hidrográficas (U-50), (U-60) e (U-70), todas associadas a Bacia do Rio Uruguai (U).

Elaborou-se no programa Excel, uma planilha contendo diversos parâmetros, incluindo-se: Dados Gerais, Geológicos, Hidrogeológicos, Teste de Bombeamento N.E.(m); N.D. (m); Vazão Específica ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$); Vazão após estabilização (m^3/h). Uma segunda planilha contendo dados físico-químicos, obtidos diretamente do SIAGAS/CPRM.

Os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) foram obtidos pela multiplicação da Condutividade Elétrica/C.E. expressa em ($\mu\text{S}/\text{cm}$) x 0,65, Mattheß (1973) e Feitosa e Manuel Filho (1997) obtendo-se o resultado em (mg.L^{-1}). A partir dos resultados de STD (mg.L^{-1}) pode-se comparar com valores propostos na resolução CONAMA nº 396/2008 convertendo-se a unidade para ($\mu\text{g.L}^{-1}$). Esta resolução considera dentre os parâmetros mínimos obrigatórios para o enquadramento das águas subterrâneas em classes os STD, pertencentes à classe 1 se o VRQ for $< 1.000.000$ ($\mu\text{g.L}^{-1}$) e na classe 2 se o VRQ $> 1.000.000$ ($\mu\text{g.L}^{-1}$). Considerando-se os usos preponderantes na bacia em estudo o consumo humano, a dessedentação animal, a irrigação da lavoura de arroz e a recreação na forma de piscinas de clubes e/ou de propriedades particulares.

As coordenadas contidas nos dados gerais encontram-se no sistema UTM (Universal Transversal de Mercator), Datum Horizontal *South American Datum 1969/SAD 69* e Datum Vertical Porto de Imbituba/Santa Catarina origem da quilometragem UTM Equador e meridiano 57°W de GR, acrescidas as constantes 10.000 km e 500 km respectivamente.

Buscando-se comparar os resultados dos dados primários do SIAGAS/CPRM as diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas, conforme disposto na resolução CONAMA nº 396/2008 artigo 29 – o enquadramento das águas subterrâneas será realizado por aquífero, conjunto de aquíferos ou porções destes, na profundidade onde está

ocorrendo às captações para os usos preponderantes. Consideraram-se os aquíferos que estão cadastrados no SIAGAS/CPRM e que foram parcial e/ou totalmente penetrados pelas perfurações, considerando-se uma unidade aquífera em separado. Desta forma avaliaram-se, tentativamente as concentrações de STD relacionados aos aquíferos: Cambaí, Acampamento Velho, Rio Bonito, Irati, Estrada Nova, Rosário do Sul, Guará, Botucatu e Serra Geral.

Estes resultados foram simulados com uso do programa SURFER 8.0 elaborando-se um cartograma para interpretação espacial da distribuição qualitativa das águas subterrâneas na bacia do rio Santa Maria e seus entornos.

Este cartograma ilustra a distribuição espacial do resultado da interpolação, através do método de interpolação com uso da krigagem, de 339 poços os quais apresentavam informações sobre a C.E. posteriormente transformada em STD, com relação às formações aquíferas à que estavam relacionados. Este cartograma foi exportado em *shapefile*, como um plano de informação, para um banco de dados com os limites da bacia e suas 21 SHR's (Seções Hidrológicas de Referência) Silveira et al. (2004), existente no Sistema de Informações Geográficas/SIG Arc GIS 9.0 e posteriormente exportados para o programa SPRING 4.2 desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/INPE. Executou-se a editoração final do mapa das concentrações de STD no programa CorelDRAW 12, da Corel inc.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos sólidos totais dissolvidos por unidade aquífera, iniciando-se pelo aquífero Cambaí, o qual pertencente ao Escudo Uruguaio-sul-riograndense, portanto, formando aquíferos fissurais/fraturados, constituído por rochas cristalinas pertencentes ao Complexo Granito-gnáissico e ao Complexo Granítico-migmatítico, onde se obteve 11 poços.

Considerando-se as demais unidades hidroestratigráficas penetradas encontrou-se, da mais antiga para a mais jovem:

- Aquífero Serra Geral 24 poços.
- Aquífero Botucatu 34 poços;
- Aquífero Guará 09 poços;

- Aqüífero Rosário do Sul 52 poços;
- Aqüífero Estrada Nova 04 poços;
- Aqüífero Irati 14 poços;
- Aqüífero Rio Bonito 10 poços;
- Aqüífero Acampamento Velho 01 poço;

Perfazendo um total de 159 poços com informações de concentração relativas aos STD os quais penetraram apenas uma unidade aquífera, destes 154 apresentaram valores $<1.000.000$ ($\mu\text{g.L}^{-1}$) portanto, enquadrando-se na classe 1 da Resolução CONAMA nº 396/2008. Estes resultados encontram-se espacializados na figura 3.

Deste total de poços com resultados de STD e penetração em apenas uma unidade aquífera, apenas cinco apresentaram valores de STD $> 1.000.000$ ($\mu\text{g.L}^{-1}$), portanto, enquadrando-se na classe 2. Três destes valores ocorreram no Aqüífero Rio Bonito 1.043.000 ($\mu\text{g.L}^{-1}$); 1.300.000 ($\mu\text{g.L}^{-1}$) e 2.436.000 ($\mu\text{g.L}^{-1}$) e dois pertencentes ao Sistema Aquífero Guarani/SAG relativos ao Aqüífero Rosário do Sul 1.250.000 ($\mu\text{g.L}^{-1}$) e 1.970.000 ($\mu\text{g.L}^{-1}$).

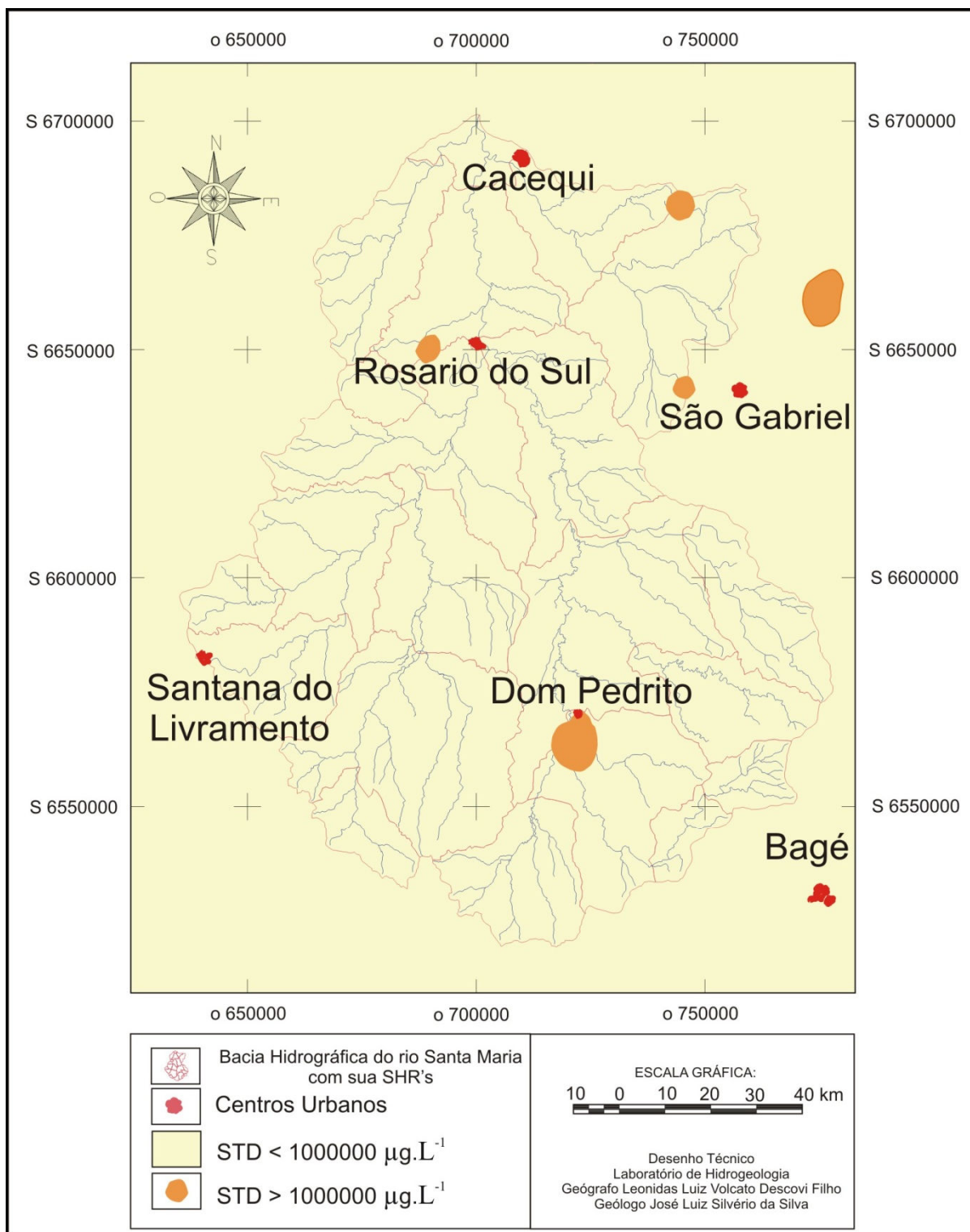


Figura 3. Mapa com a espacialização dos STD na BHRSM.
Org.: SILVÉRIO DA SILVA, J. L., DESCOVI FILHO, L. L. V., 2008.

Observa-se que os valores de concentração de STD indiferente ao aquífero penetrado, apresentaram principalmente águas subterrâneas enquadradas na classe 1, correspondendo a um percentual de 99,05% da bacia hidrográfica, portanto, uma área total de 15.797,2807 km² obtida com uso do programa SPRING 4.2 e apresentando um VRQ < 1.000.000 ($\mu\text{g.L}^{-1}$).

Por outro lado observa-se que os valores de $STD > 1.000.000 \mu\text{g.L}^{-1}$ ocorreram tanto em áreas rurais como em área urbana apresentando menos de 1% da área representada pela bacia, ou seja, 149,6790 km².

Estas ocorrências foram localizadas em dois poços tubulares na área urbana do Município de Dom Pedrito, e estão associadas a poços tubulares que penetraram o Aquífero, sendo que uma delas penetrou também o Aquífero Complexo Granito-Gnáissico. Salienta-se que um dos poços apresenta com uso preponderante da água definido como lazer, possuindo uma turbidez de 24 unidade de turbidez/UT, ou seja, bem acima do padrão de aceitação para consumo humano, fixado em 5 UT pela Portaria nº. 518/2004 para consumo humano. A outra ocorrência registrada está sendo utilizada para abastecimento humano e apresentava uma turbidez baixa de 0,5 UT. Estas ocorrências localizam-se sobre uma área com forma circular de 91,8998 km² em uma porção urbana ou de transição entre área rural e urbana (rururbana) do município de Dom Pedrito, perfazendo (61,4%) da área com classe 2 na bacia.

As demais ocorrências da classe 2 foram pontuais, em áreas rurais pertencentes aos Municípios de São Gabriel, Rosário do Sul e Cacequi, sendo que destas ocorrências, apenas uma localizou-se completamente dentro da bacia (21,9761 km² localizadas no Município de Rosário do Sul). Outra ocorrência de classe 2 localizou-se totalmente fora da bacia (81,4413 km² localizado no Município de São Gabriel). Duas ocorrências localizaram-se no limite (divisor de águas) da bacia em estudo, uma localizada no (Município de Cacequi possuindo 28,6032 km²) e outra ocorrência no (Município de São Gabriel apresentando 15,7493 km²), figura 3.

Deve-se salientar inclusive que a pequena ocorrência de águas salobras identificadas até o presente momento também indica que estas águas subterrâneas apresentam uma baixa concentração natural de flúor na área em estudo Silvério da Silva et al. (2006, 2008). Esta observação torna-se importante em termos de qualidade natural das águas subterrâneas diferentes de outros setores ou bacias hidrográficas no Estado do Rio Grande do Sul, as quais apresentam concentrações naturais elevadas de flúor nas águas pertencentes ao Sistema Aquífero Guarani, exemplo, Vacacaí e Vacacaí Mirim (G-60), Pardo (G-50) e Taquari-Antas (G-40), SEMA (2003).

5 - CONCLUSÃO

Este artigo buscou através da utilização do parâmetro representado através das concentrações sólidos totais dissolvidos/STD fornecer alguns subsídios ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do rio Santa Maria/BHRSM. Esta bacia apresenta grande importância por localizar-se em uma região de afloramentos do Sistema Aquífero Guarani, que representa um importante manancial hídrico subterrâneo e transfronteiriço, apresenta a necessidade de uma gestão integrada, o que vem sendo estimulado tanto pelas resoluções, cita-se como exemplo a resolução CONAMA nº 396/2008 além de projetos como o PSAG, bem como projetos que visem a integração dos instrumentos de enquadramento de águas subterrâneas e superficiais.

Desta forma a espacialização das concentrações de STD, forneceram subsídios práticos para ampliar os conhecimentos das características físico-químicas dos aquíferos localizados na BHRSM visando o enquadramento das águas subterrâneas, no momento em que se distingue através de sua qualidade através da comparação com a legislação vigente.

Observou-se que as águas subterrâneas na BHRSM enquadraram-se na classe 1 cerca de (99,05%) enquanto que na classe 2 entorno de (0,95%), evidenciando-se a predominância da classe 1.

Sugere-se estudos complementares de outros elementos químicos como os nitratos e os coliformes termotolerantes, considerados parâmetros mínimos para o enquadramento, de acordo com a Resolução CONAMA nº.396/2008.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Prof^a Dr^a. Jussara Cabral Cruz do Departamento de Hidráulica e Saneamento/Centro de Tecnologia/Universidade Federal de Santa Maria pelos ensinamentos com relação ao programa Arc GIS 9.0, bem como seus ensinamentos que hoje fazem parte deste trabalho. E o empenho e auxílio prestado pelo Prof. Dr. José Luiz Silvério da Silva do Departamento de Geociências/Centro de Ciências Naturais e Exatas/Universidade Federal de Santa Maria e pelo Prof. Dr. Geraldo Lopes da Silveira do Departamento de Hidráulica e Saneamento/Centro de Tecnologia/Universidade Federal de Santa Maria, que fazem parte deste artigo.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ARAÚJO L. M.; França A. B.; Potter P. E. **Hydrogeology of the Mercosul aquifer system in the Paraná and Chaco-Paraná Basins, South America, and comparison with the Navajo-Nugget aquifer system, USA.** Hydrogeology Journal 7:317–336. 1999.
- [2] BRASIL, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/INPE. **SPRING 4.2 for Windows** disponível em <http://ww.dpi.inpe.br/spring> acessado em 15 de março de 2008.
- [3] BRASIL – Ministério da Saúde, **Portaria n° 518** de 25 de março de 2004, 15 p.
- [4] BRASIL – Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, **Resolução n° 396** de 17 de abril de 2008.
- [5] CAMPONOGARA, I. **Vulnerabilidade natural do Sistema Aquífero Guarani, em Santana do Livramento, RS, com uso de Geotecnologias.** Programa de Pós-Graduação em Geomática, UFSM, Dissertação de Mestrado em Geomática. Santa Maria. 2006. 110p.: ilustr.
- [6] COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS, CPRM **Mapas Geológicos** Escala 1:100.000, Anexos 67, 68, 77, 78, 79, 80, 89, 90, 91 e 92. Projeto Borda Leste da Bacia do Paraná Integração Geológica e Avaliação Econômica. 1986.
- [7] COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS, CPRM. **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas, SIAGAS.** Disponível em: <http://siagas.cprm.gov.br/wellshow/indice.asp?w=1024&h=764&info=1> Acessado em: 27 Abril 2008.
- [8] CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (2001). **Resolução n. 15**, de 11 de janeiro de 2001. Delega competência a SINGRH e dá outras providências. Diário Oficial da União, poder executivo, Brasília, DF, 03p.
- [9] DE MORAIS, T. Z. **Simulação da Cobrança para o Investimento em Barragens na Bacia do Rio Santa Maria.** Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria, 2005.
- [10] FEITOSA, A. C. F. e MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Editora Gráfica LCR: Fortaleza, 1997. 389 p.
- [11] FORGIARINI, F. R. **MODELAGEM DA COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA BRUTA PARA APLICAÇÃO EM ESCALA REAL NA BACIA DO RIO SANTA MARIA.** Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria, 2006. 142p.

- [12] FOSTER, S. S. D.; Hirata, R. C. A.; Gomes, D.; D'elia, M.; Paris, M. **Groundwater quality protection: a guide for water utilities, municipal authorities and agencies**. Washinton: The Word Bank, 2002.
- [13] FRANTZ, L. C. **Avaliação do Índice de Vulnerabilidade do Aquífero Guarani no Perímetro Urbano da Cidade de Santana do Livramento – RS**. Santa Maria/RS. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSM, Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. 2005. 125p.
- [14] FREITAS, M. A. de; Machado, J. L. F.; Viero, A. C.; Trainini, D. R.; Germano, A. de O.; Glugliotta, A. P.; Caye, B. R.; Pimentel, G. de B.; Goffermann, M.; da Silva, P. R. R. **Mapa hidrogeológico do rio grande do sul: Um avanço no conhecimento das águas subterrâneas no estado**. In: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas (ABAS). Cuiabá, MT. 2004. p. 1-14.
- [15] FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA IBGE **Folha SH.22 Porto Alegre e partes das Folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: IBGE, 1986. 796p., 6 mapas.; il. – (Levantamento de recursos naturais; V.33).
- [16] GOLDEN SOFTWARE, INC. **Surfer, versão 8.0**. 2004.
- GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE (SEMA), **Relatório final: Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: SEMA. 2005. Disponível em www.sema.rs.gov.br acessado em 31 Out 2007.
- [17] HAUSMAN, A. **Esboço Hidrogeológico do Rio Grande do Sul**. In: Semana de Debates geológicos. Porto Alegre, RS. Centro Acad. Est. Geol, UFRGS. 1965. p.37 –71.
- [18] HAUSMAN, A. **Províncias Hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul – RS**. Acta Geológica Leopoldensia (Série Mapas, escala 1:50.000), n. 2, 1995. p. 1-127
- [19] HIRATA, R. **Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto Geológico, CETESB, 2v. 1997.
- [20] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **CIDADES@**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php> acessado em 28 de outubro de 2007.
- [21] LISBOA, N. A. **Fácies, Estratificações hidrogeoquímicas e seus controladores geológicos, em unidades hidrogeológicas do Sistema Aquífero Serra Geral na Bacia do Paraná, RS**. Tese de doutorado. UFRGS. 1996. 135p.

- [22] MACHADO, J. L. F. e FREITAS, M. A. **Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul**: relatório final. Porto Alegre: CPRM, 2005. 65p.: il.; mapa.
- [23] MACHADO, J. L. F. **Compartimentação Espacial e arcabouço Hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul**. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Tese de Doutorado UNISINOS, São Leopoldo, 2005 p.237.
- [24] MATTHEß, G. **Die Beschaffenheit des Grundwassers – Lenhrbuch der Hydrogeologie**. Berlin-Stuttgart, Gebrüder Bornträger, vol. 2. 1973.
- [25] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, MMA, SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTE URBANO, SRU, **Águas subterrâneas**, um recurso a ser conhecido e protegido.(cartilha), Brasília. 2007. 38p.
- [26] PAVÃO, A. D. M. **AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA MARIA – RS**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria, 2004. 107p.
- [27] PRESOTTO, C. A.; Dias, A. de A.; Kirchner, C. A.; Garcia, P. F. 1973 **Projeto Hidrogeologia da Fronteira Sudoeste do Rio Grande do Sul** : relatório final. Porto Alegre, DNPM/CPRM. 3v. (Inédito)
- [28] RAVANELLO, M. M. **ANÁLISE TÉCNICA, LEGAL E SOCIAL PARA SUBSÍDIOS À OUTORGA DE DIREITO DE USO DOS RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IBICUÍ – RS**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria, 2007. 123p.
- [29] SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE SEMA DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH, **MAPA DO RIO GRANDE DO SUL, DIVISÃO MUNICIPAL E BACIAS HIDROGRAFICAS**. SEMA/DRH: Fevereiro de 2003.
- [30] SECRETARIA GERAL DO PROJETO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL SG-PSAG disponível em www.sg-guarani.org acessado em 20 de maio de 2008.
- [31] SILVEIRA G. L.; Cruz, J. C.; Silvério da Silva, J. L.; Cruz, R. C. Silva, C. E. **Desenvolvimento de Ações para a implantação da outorga na Bacia do Rio Santa Maria**. UFSM/DRH/SEMA/RS. Convênio nº02/2002. Relatório Técnico 1. 2003.
- [32] SILVÉRIO da SILVA, J. L.; Bessouat, C.; Camponogara, I.; Frantz, L. C.; Guimaraens, M.; Gamazo, P.; Failache, L.; Moraes Flores, E. L. de; Moraes Flores, E. M. de; Dressler, V. L. **Caracterização de áreas de recarga e descarga do SAG em Rivera/Santana e Quarai/Artigas**. Estudo da vulnerabilidade na região de Quarai/Artigas. Projeto nº10 Fundo

das Universidades PSAG. <http://www.sg-guarani.org/> Fundo das Universidades. Texto completo (151 p., 2 v.) e Resumo executivo Português, Espanhol e Inglês. 2006.

[33] SILVÉRIO da SILVA, J. L.; Bessouat, C.; Camponogara, I.; Frantz, L. C.; Guimaraens, M.; Gamazo, P.; Failache, L.; Moraes Flores, E. L. de; Moraes Flores, E. M. de; Dressler, V. L. **Caracterização de áreas de recarga e descarga do SAG em Rivera/Santana e Quarai/Artigas.** Estudo da vulnerabilidade na região de Quarai/Artigas. Aquífero Guarani – Avanços no conhecimento para sua gestão sustentável. Fundo das Universidades. 61 – 75. 2007.

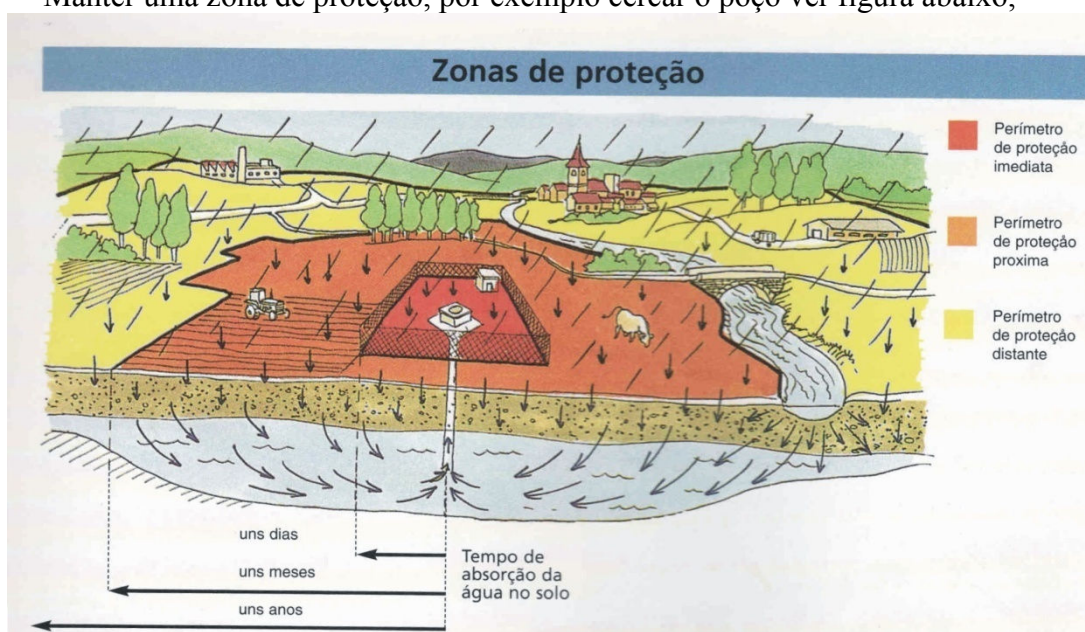
[34] SILVÉRIO da SILVA, J. L.; Dressler, V. L.; RIFFEL, E. S.; SANTIAGO, M. R.. **Ocorrências anômalas de flúor em águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani no Estado do Rio Grande do Sul.** In: V Seminário Latino-americano e I Seminário Ibero-americano de Geografia Física. Santa Maria, RS. 2008. p. 623-639.

ANEXO C – MATERIAL PARA EDUCAÇÃO AMBIENTAL TÉCNICA

Educação Ambiental Técnica:

Cuidados básicos a se tomar com os poços:

- ✓ Manter criações de animais em geral longe do poço;
- ✓ Animais e atividades localizadas no entorno do poço podem contaminar o mesmo através dos dejetos, por exemplo Urina, esterco, fossas e agrotóxicos etc;
- ✓ Manter uma zona de proteção, por exemplo cercar o poço ver figura abaixo;



LABHIDROGEO
LABORATÓRIO DE HIDROGEOLOGIA - UFSM

Site: www.ufsm.br/labhidrogeo e-mail leonprs@gmail.com

ANEXO D – FICHA DE COLETA DE DADOS EM TRABALHOS DE CAMPO

Proprietário: _____

Localidade/Cidade: _____

Data da análise: ___/___/2009

Tipo do Poço:

 Tubular Escavado Outro

N.E.: _____

Análise Físico-Química da Água:

pH: _____

Condutividade Elétrica: _____

Oxigênio Dissolvido: _____

Sólidos Totais Dissolvidos: _____

Temperatura da água: _____

Temperatura do ar: _____

www.ufsm.br/labhidrogeo

Bolsista Leonidas e-mail: leonprs@gmail.com

