

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

Leonidas Luiz Volcato Descovi Filho¹; José Luiz Silvério da Silva²; Francisco Rossarolla
Forgiarini³; Geraldo Lopes da Silveira⁴

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.

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 six municipalities. Seeking subsidies for the integrated management of surface and groundwater were studied the concentrations of Total Dissolved Solids /

¹ PPGEC/CT/UFSM: Avenida Roraima, 1000 Prédio 17 Sala: 1605 CEP: 97150-900. (55)3220-8638, (55)3220-8207, leonprs@gmail.com

² 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

³ IPH/UFRGS: Av. Bento Gonçalves, 9500 - CEP 91501-970 Caixa Postal 15029. (51)33086327;(51)93414735, francisco_forgiarini@yahoo.com.br

⁴ Depto. de Hidráulica e Saneamento e PPGEC/CT/UFSM: Avenida Roraima, 1000 Prédio 10 CTLAB Sala: 539B CEP: 97105-900 (55)99716939;(55)32208886, geraldo.ufsm@gmail.com

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 executados 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), Ravello (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.

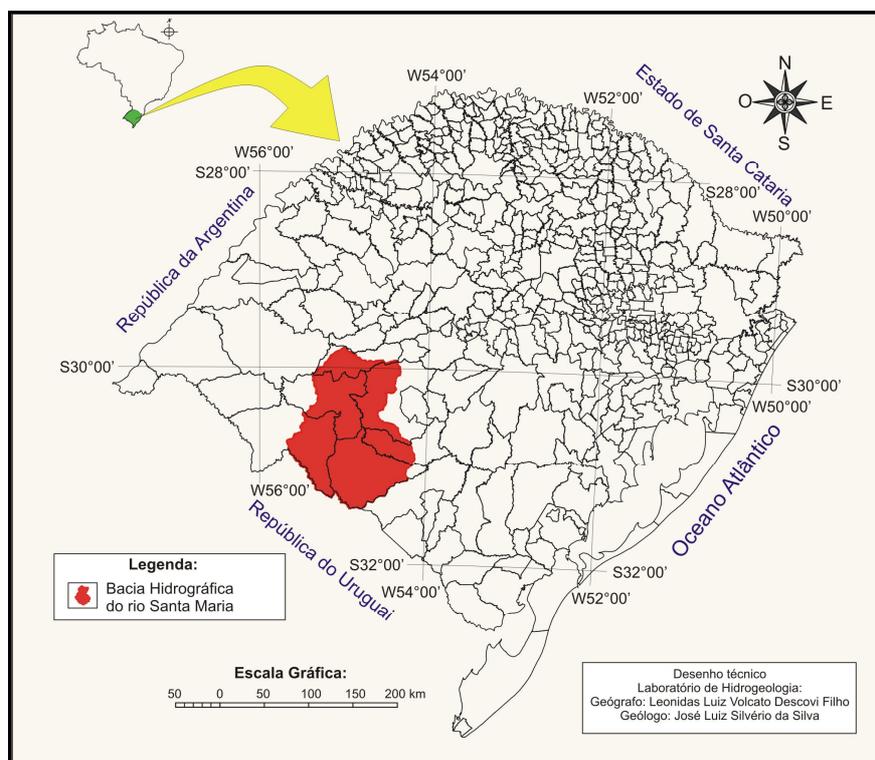


Figura 1. Mapa de localização da BHRSM.

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 n° 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 7° 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 BHRSM 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 Aqüíferos Fissurais do Escudo Cristalino constituídos por (rochas ígneas e metamórficas fraturadas); os Aqüíferos Porosos Permianos (formações areníticas Rio Bonito e Grupo Itararé); os Aqüíferos Porosos Permianos (sedimentitos finos, argilitos e siltitos das formações Palermo, Irati, Estrada Nova e Rio do Rasto); os Aqüíferos Porosos Triássicos (às formações arenosas Pirambóia e Sanga do Cabral); os Aqüíferos Porosos Eo-Cretáceos (às formações areníticas Guará e Botucatu); os Aqüíferos Fissurais Serra Geral (derrames de rochas vulcânicas) e os Aqüíferos 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.

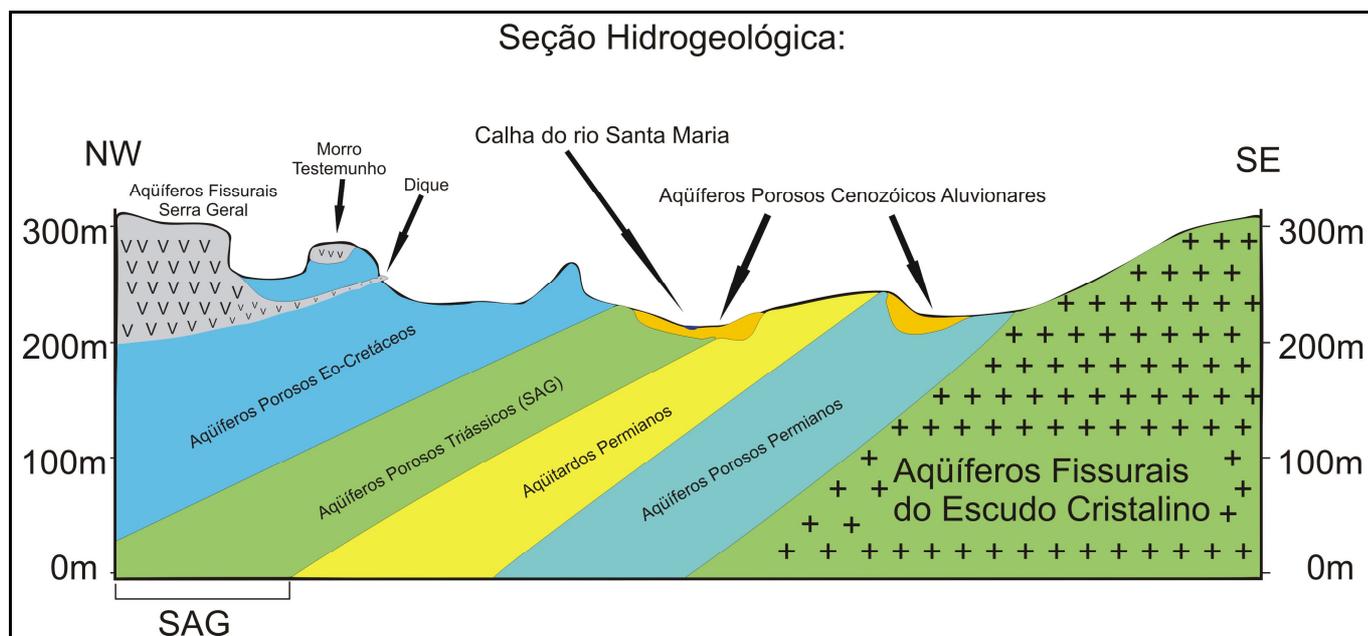


Figura 2. Esboço preliminar da hidrogeologia de um perfil NW- SE, na BHRSM.
Org.: SILVÉRIO DA SILVA, J. L., DESCOVI FILHO, L. L. V., 2008, adaptado de Freitas et al. 2004.

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 C_{fah} e o C_{fak}. 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 (m³/h/m); Vazão após estabilização (m³/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 (μS/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 n° 396/2008 convertendo-se a unidade para (μg.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 $< 1.000.000 \text{ (}\mu\text{g.L}^{-1}\text{)}$ e na classe 2 se o VRQ $> 1.000.000 \text{ (}\mu\text{g.L}^{-1}\text{)}$. 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;
- Aquífero Rosário do Sul 52 poços;
- Aquífero Estrada Nova 04 poços;
- Aquífero Irati 14 poços;
- Aquífero Rio Bonito 10 poços;
- Aquífero 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 Aquífero 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 Aquífero Rosário do Sul $1.250.000$ ($\mu\text{g.L}^{-1}$) e $1.970.000$ ($\mu\text{g.L}^{-1}$).

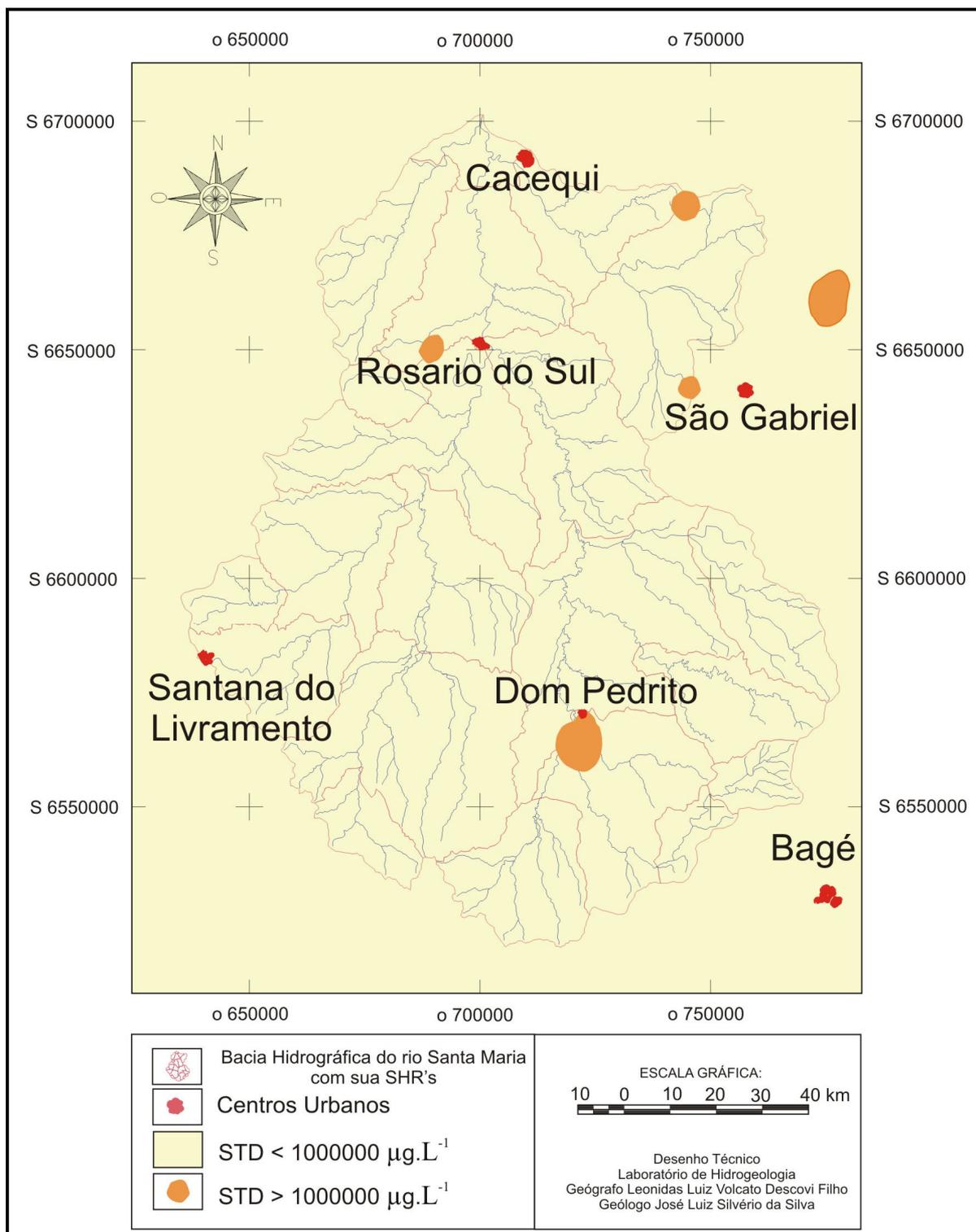


Figura 3. Mapa com a espacialização dos STD na BHRSM.
Org.: SILVÉRIO DA SILVA, J. L., DESCOVI FILHO, L. L. V., 2008.

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 (µg.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 nº 518** de 25 de março de 2004, 15 p.
- [4] BRASIL – Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, **Resolução nº 396** de 17 de abril de 2008.
- [5] CAMPONOVARA, 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.