

VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL/GUARANI NO MUNICÍPIO DE QUARAÍ/RS

Eliane Ferreira dos Santos¹; José Luiz Silvério da Silva²; Adilson de Chaves³ & Isabel Camponogara⁴

RESUMO - No município de Quaraí ocorre rochas vulcânicas do Aquífero Serra Geral, pontualmente existem afloramentos “janelas” de arenitos pertencentes à Formação Botucatu, que podem servir como áreas de recarga direta a partir das precipitações pluviométricas para o Sistema Aquífero Guarani (SAG). Porém, esta formação porosa é de elevada permeabilidade podendo também aumentar a probabilidade do risco de contaminação do SAG. O objetivo do trabalho foi identificar as áreas vulneráveis à contaminação a partir do estudo da vulnerabilidade natural do sistema aquífero, com base nos dados pré-existentes fornecidos pelos poços tubulares e escavados existentes no município de Quaraí, obtidos no cadastro de usuários de poços da Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais/CPRM. Aplicou-se o método *GOD* desenvolvido por Foster et al. (2003) que determina os riscos de contaminação das águas subterrâneas com base na avaliação da vulnerabilidade do aquífero, mediante o **G**rau de confinamento hidráulico; **O**corrência litológica e **D**istância do nível da água. Simularam-se nesta pesquisa 56 poços que foram espacializados no programa Surfer 8.0. A classe de vulnerabilidade predominante foi desprezível, com 39 poços, 1 na baixa e 1 na extrema, 3 média e 12 na classe alta. A área mais susceptível à contaminação encontra-se no setor Noroeste e ao Sul.

ABSTRACT – This paper presents the preliminary results from master dissertation studies. At Quaraí city southern Brazil and Uruguai, border Rio Grande do Sul State there is outcrops of Serra Geral Aquifer. It is framework was shaped by volcanic rocks. In some points there are windows of sandstones, forming small outcrops of Guarani Aquifer System/GAS. These points probably represent direct recharge from rain waters and high vulnerability free aquifer. The goal of this work was identify natural vulnerability areas to contamination. Were used GOD Method Foster et al. (2003). The G= is related to the confinement grade of the aquifer and/or system, O= is the overall litologies to the top of Groundwater, and D= depth of the water table. Were used primary data from *Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais*/Groundwater Information System/SIAGAS. Were registered 129 wells but only 56 wells were simulated in Geographic Information System using Surfer 8.0 software. The negligible class of vulnerability was chiefly (main) with 39 wells, 1 low and 1 extreme, 3 mean and 12 wells at high class. The areas with biggest susceptibility to contamination were situated at northwest and south sectors of the studied area.

Palavras-chave: avaliação, espacialização

¹ Geógrafa/Mestranda em Eng. Civil-UFSM, Av. Roraima, Prédio 17, Sala 1605, CEP 97119-900 Sta. Maria/RS efsantos2004@yahoo.com.br

² Professor Adjunto da UFSM/CCNE, Av. Roraima, Prédio 17, Sala 1605, CEP 97119-900 Sta. Maria/RS silverio@base.ufsm.br

³ Mestrando em Eng. Civil-UFSM, Av. Roraima, Prédio 17, Sala 1605, CEP 97119-900 Sta. Maria/RS chavesgeo@gmail.com

⁴ Geógrafa –UFSM Av. Roraima, Prédio 17, Sala 1605, CEP 97119-900 Sta. Maria/RS isacamponogara@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A água subterrânea é um recurso natural indispensável para a humanidade e para o meio ambiente, pois mantêm a umidade do solo, garante o fluxo de base dos cursos d'água, sendo responsável pela sua perenização em épocas de estiagem. Além de suprir as necessidades, seja no atendimento total ou parcial do abastecimento público e de atividades como irrigação, dessedentação de animais, indústria, turismo, lazer, entre outros, pela captação em poços tubulares, escavados ou fontes/nascentes.

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) ainda é considerado um dos maiores mananciais de água subterrânea do mundo. Tem sido mostrado pela Secretaria Geral do Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do SAG (2007), costuma-se dizer que o aquífero é transfronteiriço porque está localizado por baixo do território de quatro países sul-americanos. Na Argentina sua extensão é de 225.500 km², no Brasil de 840.000 km², no Paraguai de 71.700 km² e no Uruguai 58.500 km² totalizando cerca de 1.200.00 km² ao sudeste da América do Sul, entre 12° e 35° de latitude sul e 47° e 65° de longitude oeste.

Este trabalho foi executado no município de Quaraí (Figura 1), compreendido entre as coordenadas geográficas 30°00'00'' e 30°30'00'' de latitude Sul e 56°15'00'' e 56°30'00'' de longitude Oeste, abrange uma área de aproximadamente 3.238 km² (FEE, 2004).



Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo

De acordo com a Companhia Riograndense de Saneamento/CORSAN/SURFRO-Quaraí, 2004, o consumo de água através do recalque superficial (Rio Quaraí) foi de 107.096 m³ e o consumo de água através do recalque subterrâneo (poços tubulares) foi de 102.090 m³, no ano de 2004. Isto significa que cerca de 50% da população total do município de Quaraí (24.827 hab., segundo FEE, 2004) foi abastecida pelas águas subterrâneas do Sistema Serra Geral/SAG.

As águas subterrâneas em Quaraí são utilizadas no abastecimento público, na irrigação (vitivinicultura), dessedentação de animais, no lazer (piscinas do Clube Comercial, Círculo Militar e Associação Atlética do Banco do Brasil/AABB), entre outros.

Entretanto, é importante que se conheçam as características hidrogeológicas da área em que se pretende usufruir deste recurso, a fim de compreender-se a dinâmica natural das águas subterrâneas e identificar-se os possíveis pontos de contaminação. Visando adequar-se as ações antrópicas de uso e ocupação do solo para não alterarem a qualidade e a quantidade das águas subterrâneas.

Os dados referentes às formações aquíferas são raros na região, e a crescente exploração⁵ poderá ocasionar divergências entre usuários, dentre os quais se podem citar os setores de abastecimento público e privado, industrial e agropecuário, já que este último representa a principal atividade econômica do município de Quaraí.

Na área estudada, o SAG encontra-se nos poros de formações areníticas constituídas por arenitos finos a médios, pertencentes à Formação Botucatu relativamente permeáveis devido sua origem eólica formam afloramentos pontuais denominados de “ventanas” por Perez e Rocha (2002) para a área de Artigas. Apresenta nas áreas de recarga direta (áreas de afloramento) a maior vulnerabilidade à contaminação, por uma carga imposta da superfície, diminuindo à medida que a formação aquífera se aprofunda e adquire condições de confinamento por derrames de rochas vulcânicas, constituídas por basaltos da Formação Serra Geral.

É nesse contexto que se insere o objetivo principal deste trabalho: identificar áreas vulneráveis à contaminação das águas subterrâneas, a partir do estudo da vulnerabilidade natural do sistema aquífero, com base nos dados pré-existentes fornecidos pelos poços tubulares e escavados conhecidos no município de Quaraí.

2. METODOLOGIA

Os dados dos poços do município de Quaraí foram obtidos no cadastro de usuários de poços da Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais/CPRM no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas/SIAGAS, na página eletrônica www.cprm.gov.br.

⁵ Exploração de água subterrânea consiste na sua extração para dispô-la ao uso, exploração com objetivo econômico (Wrege, 2006).

Montou-se um banco de dados tabulados no programa computacional Microsoft Excel com parâmetros hidrogeológicos, hidrodinâmicos e de qualidade físico-química dos poços cadastrados.

Aplica-se nesta pesquisa o método **GOD**, desenvolvido por Foster e Hirata (1993) e Foster et al. (2003) que determina os riscos de contaminação das águas subterrâneas, com base na avaliação da vulnerabilidade natural do aquífero.

Segundo Foster e Hirata (1993), a vulnerabilidade do aquífero significa sua maior ou menor suscetibilidade de ser afetado por uma carga contaminante imposta na superfície. Isto significa que uma determinada área pode ter uma situação de alta vulnerabilidade, mas, sem risco de contaminação se não existir carga poluidora significativa, ou vice-versa. A vulnerabilidade natural é uma propriedade intrínseca do aquífero, porém, o mesmo não ocorre com a carga poluidora que pode ser modificada ou controlada.

Este procedimento depende de três parâmetros básicos: **G**=Grau de confinamento hidráulico, isto é, tipo de aquífero quanto à condição de ocorrência das águas subterrâneas (livre, confinado, semi-confinado), **O**=Ocorrência litológica e **D**=Distância do nível da água, ou seja, profundidade do nível freático em aquíferos livres.

Identificado o Grau de confinamento hidráulico atribui-se-lhe um valor que varia de no mínimo 0 (surgente/nascente) a no máximo 1,0 (não-confinado); para a litologia um valor que varia de 0,4 a 1,0 e para a distância do nível da água valores de 0,6 a 0,9 (profundidades menores que 50m) e 1,0 (qualquer profundidade para rochas porosas como calcretes e calcários cársticos). A partir do produto destes três parâmetros resulta no índice de vulnerabilidade do aquífero que pode variar de 0 a 1.

De acordo com os autores, as classes de vulnerabilidade de aquíferos à poluição são:

- Extrema Vulnerabilidade a muitos poluentes, com relativo rápido impacto em muitos cenários de contaminação (nota 0,7 a 1);
- Alta Vulnerabilidade a muitos poluentes, exceto àqueles pouco móveis e persistentes (nota 0,5 a 0,7);
- Moderada Vulnerabilidade a alguns poluentes, mas somente quando continuamente lançado (nota 0,5 a 0,3);
- Baixa somente vulnerável a contaminantes conservativos em longo prazo, quando continuamente e amplamente lançado (nota 0,3 a 0,1);
- Desprezível associada a camadas confinantes com fluxo vertical descendente não significativo (nota 0,1 a 0).

Posteriormente estes dados foram transferidos para o programa Surfer 8.0, para a distribuição espacial dos parâmetros hidrodinâmicos. O programa Surfer 8.0 possui vários métodos de

interpolação, tais como: inverso da distância, *krigagem*, curvatura mínima, ponto mais próximo, regressão polinomial, *função radial basis*, método de Shepard e triangulação com interpolação linear. Estes processos matemáticos servem para locação de linhas de isovalores, gerando-se cartogramas georreferenciados em Sistemas de Informações Geográficas/SIG. Utilizou-se carta topográfica na escala 1:25.000, datum horizontal SAD 69- Minas Gerais e datum vertical Imbituba-Santa Catarina, origem da quilometragem UTM “Equador e Meridiano 57°W.Greenwich”. De acordo com Zingano (2005) a interpolação por *krigagem* utilizada no Surfer 8.0 é a *krigagem* ordinária pontual. Antes de aplicar esta interpolação realizou-se um estudo da continuidade espacial dos dados.

Como material de apoio bibliográfico buscou-se pesquisas recentes sobre o SAG desenvolvidas no município de Quaraí, pela Universidade Federal de Santa Maria/UFSM, Departamento de Geociências em parceria com a Universidade da República do Uruguai/UdeLAR, Instituto de Mecânica dos Fluidos, como por exemplo, o Projeto N° 10 Fundo das Universidades, intitulado “Caracterização de áreas de recarga e descarga do SAG em Rivera-Livramento e em Quaraí-Artigas” e “Estudo da Vulnerabilidade na área de influência de Quaraí-Artigas” Frantz (2005), Camponogara (2006), Silvério da Silva et al. (2006). Também trabalhos prévios sobre a análise da vulnerabilidade natural do SAG a impactos antrópicos (Santos, 2004), Banco de Imagens: uma proposta de Educação Ambiental (2007).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Devem ser destacados os seguintes autores que realizaram estudos sobre hidrogeologia na área do presente estudo, dentre eles:

- Presotto et al. (1973), realizaram o “Projeto Hidrogeologia da Fronteira Sudoeste do Rio Grande do Sul”. Neste projeto foi realizado um cadastro inicial de 51 poços tubulares na região de Quaraí, apresentando perfis geológicos e análises físico-químicas das águas subterrâneas.

- Suertegaray (1987/1998) descreveu aspectos relativos aos campos de dunas aflorantes na região de Cati, Areal caracterizando o processo de arenização na fronteira oeste do Estado do Rio Grande do Sul. Estas áreas podem servir como recarga direta dos aquíferos a partir de precipitações pluviométricas.

- Hausman (1995) detalhou as Províncias Hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul.

- Lisboa (1996), realizou estudos geológicos e hidrogeológicos do Sistema Aquífero Serra Geral na Bacia do Paraná.

- Silvério da Silva et al. (2004 a) discutiram alguns aspectos relativos ao arcabouço geológico-geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Rio Quaraí.

- Machado (2005 a, 2005 b), realizou um estudo de compartimentação espacial e arcabouço do hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul apresentando sua visão dos mitos e verdades do Aquífero Guarani.

- Silvério da Silva et al. (2006), realizaram estudos na área de fronteira entre o Brasil e o Uruguai, preparando diversos mapas, e realizando estudos de vulnerabilidade do Aquífero Serra Geral/SAG nas cidades de Quaraí e Artigas/Uruguai.

3.1 Caracterização física da área de estudo

3.1.1 Hidrografia

O município de Quaraí é drenado pelas águas das bacias hidrográficas do Rio Ibirapuitã e do Rio Quaraí, que por sua vez integram a Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai. A cidade de Quaraí é margeada pelo Rio Quaraí, que constitui marco natural da fronteira Brasil-Uruguai, sendo afluentes dentro do município de Quaraí os arroios: Quaraí-Mirim, Salso, Areal, Cati, Pai-Passo, Garupá, Mancarrão, Sanga do Lajeado e a Sanga da Divisa (Prefeitura Municipal de Quaraí, 1998).

O Rio Quaraí tem suas nascentes no reverso da *Cuesta do Haedo*, em altitudes em torno de 376m, constituindo-se num rio cataclinal, bastante encaixado, indo desaguar no Rio Uruguai, na fronteira com o Uruguai e a Argentina, em altitudes inferiores a 40m, próximo ao município de Barra do Quaraí (Silvério da Silva et al., 2004 a).

De acordo com Hausman (1995) e Silvério da Silva et al., (2004 a), o Rio Quaraí na área estudada está encaixado em um sistema de falhas de direção preferencial NW e secundariamente NS e NE. Segue a direção preferencial do caimento (pendente) da *Cuesta do Haedo*, apresentando cotas altimétricas mais elevadas, na ordem de 300m em Santana do Livramento/Brasil – Rivera/Uruguai em direção ao Rio Uruguai em áreas ocupadas pela Formação Serra Geral, com denominação local de Coxilha de Santana. Este rio forma depósitos aluvionares, inconsolidados, de constituição e espessura variada.

A Sanga da Divisa está encaixada em um sistema de falhas de direção preferencial NE e secundariamente NS. Seu curso está encaixado em rochas vulcânicas e muitas vezes forma depósitos aluvionares de constituição arenosa, a Norte da Cidade de Quaraí, na localidade de Serrinha (Silvério da Silva et al., 2006).

A sanga do Lajeado está encaixada em um sistema de falhas de direção preferencial NE e secundariamente NW. A Sanga do Caturra está encaixada em um sistema de falhas de direção preferencial EW e secundariamente NW.

A Sanga do Salso está encaixada em um sistema de falhas de direção preferencial NW e NE e recebe contribuição das águas oriundas das Sangas do Caturra e do Lajeado.

A Bacia Hidrográfica do Rio Quaraí, U-60⁶, de acordo com o Sistema Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul (SEMA, 2006), apresenta amplas planícies de inundação, em grande parte utilizada para o pastoreio e para a cultura de arroz irrigado (Suertegaray, 1998).

Do trabalho de Silvério da Silva et al. (2006), estima-se que haja conexão hidráulica entre as fraturas/diáclases nos derrames vulcânicos de petrofábrica predominantemente maciça sobre os vacuolares e brechas. No estudo geológico realizado uma das únicas áreas onde se acredita que haja contribuição direta dos arenitos do SAG para as águas do Rio Quaraí, ou o contrário, dependendo do regime de chuvas, localiza-se na região da *Piedra Pintada*, em Artigas/Uruguai, atingindo uma cota de 170m, no seu topo.

3.1.2 Geomorfologia

Sob o ponto de vista geomorfológico, o município de Quaraí está situado no Planalto Meridional Brasileiro na borda da Bacia Intracratônica do Paraná RADAMBRASIL (1986). Na parte leste do Município predomina solos arenosos e relevo marcado por várzeas e chapadões, sob domínio das formações Rosário do Sul e Botucatu. Na parte oeste difere por sua topografia mais plana, exceto o Cerro do Jarau, com solos mais superficiais e pedregosos, provenientes da Formação Serra Geral, e cobertos principalmente por vegetação estépica conhecida localmente por “campos finos” (Reitz et al. *apud* Marchiori, 1992).

Suertegaray (1998) descreveu a topografia local, apresentando baixas altitudes. De maneira geral, o relevo encontra-se composto de vertentes côncavo-convexas (coxilhas), recobertas de vegetação de gramíneas. As pequenas elevações de formas arredondadas são denominadas “coxilhas”, não superiores a 200 metros de altura e coberta de pastagens.

3.1.3 Geologia

Notou-se no reconhecimento geológico a ocorrência de quatro formações, conforme CPRM (1973): Rosário do Sul, Botucatu, Serra Geral e depósitos aluviais e/ou eluviais Cenozóicos. O poço (ID 4300000886 CPRM/SIAGAS/2007), localizado no Hospital de Caridade de Quaraí, penetrou 39m na Formação Serra Geral, 54m na Formação Botucatu e 17m na Formação Rosário do Sul, portanto, totalizando 71m nos arenitos do SAG (Silvério da Silva et al., 2004 a).

De acordo com proposições de Machado (2005), o SAG é constituído na fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, onde estão inseridas as áreas do estudo Projeto N°10, por diferentes formações

⁶ U-Bacia Hidrográfica do Uruguai, proposição SEMA (2006).

geológicas, dispostas em camadas, que têm como característica comum serem constituídas por rochas porosas, constituídas por areia, siltes e argilas.

A Formação Rosário do Sul, a mais antiga na área de estudo, é constituída por arenitos finos a muito finos, argilosos, micáceos, cor vermelho tijolo, com intercalções de siltitos argilosos e estratificação acanalada típica de paleoambiente fluvial (Silvério da Silva et al., 2004 a). Quando aflorantes formam aquíferos livres com baixo teor em Sólidos Totais Dissolvidos (STD) na água, quando confinados pela Formação Serra Geral, podem apresentar elevadas concentrações de STD. Na área urbana de Quaraí somente apareceu no poço (4300000886) em subsuperfície.

A Formação Botucatu é composta de arenitos eólicos, de granulação média a fina, friáveis, vermelhos a amarelos, com estratificação cruzada de alto ângulo, com baixo conteúdo de siltes e argilas, porosidade de 18 a 30% (Araújo et al., 1999).

Segundo o mapa geológico da CPRM em 1973, esta formação apresentava espessuras indicadas pelos poços tubulares de até 200m, aparecendo na região do Arroio Areal.

No Centro-Sul do Município há ocorrência de litologias sedimentares identificadas como Formação Botucatu, arenitos depositados no Período Jurássico (Suertegaray, 1998).

É sobre a Formação Botucatu que se registra a ocorrência de áreas arenosas, localizadas a Sudeste da sede municipal, a cerca de 20 km desta, próximo à rodovia BR-293 que faz a ligação rodoviária entre os municípios de Quaraí a Santana do Livramento.

A região do Areal fica entre os arroios Areal e Cati, ambos afluentes do Rio Quaraí, segundo Veiga et al. *apud* Marchiori (1992), a área possui concentrações de sedimentos não pertencentes à Formação Botucatu, mas sim a uma sedimentação Cenozóica.

Para Suertegaray *apud* Marchiori (1992), “os areais resultam de um processo de ‘arenização’, ou seja, de um retrabalhamento do solo, de origem não antrópica, resultante da ação de agentes climáticos em um substrato pouco consolidado e propício ao fenômeno erosivo”.

A Formação Serra Geral, Cretáceo inferior, Montañó et al. (1998) é constituída de rochas basálticas e intercalações de arenitos eólicos finos a médios intertrapeanos, podendo apresentar espessuras superiores à 20m. Apresentam afloramentos constituindo relevos residuais “janelas”, ocorrendo principalmente próximo à cidade de Quaraí. A localização destas “janelas” sugere um processo de tectonismo com subida e descida de blocos, podendo sofrer evolução local a partir de afloramentos do lençol freático pretérito e atual. A espessura dos derrames basálticos varia de 10m a 60m, sendo a máxima espessura conhecida de 280m de acordo com o trabalho de Presotto et al. (1973).

Na região de Quaraí, os efeitos da tectônica de borda da Bacia do Paraná, parecem ter sido mais importantes na geração de arenitos interderrames, depositados em antigos paleovales,

indicando a contemporaneidade entre os dois eventos. A tectônica rígida de distensão gerou movimentação de blocos por basculamento possibilitando aos arenitos originalmente confinados a aflorarem, formando “janelas” na superfície ao longo de episódios erosivos, e servindo como área de recarga do SAG. As direções predominantes de linhas de falhas NW e NE deixaram camadas sedimentares, próximas da superfície do terreno até cerca de 90m, aproximadamente, sem continuidade lateral, formando aquíferos descontínuos (Silvério da Silva et al., 2006).

Ainda segundo Silvério da Silva et al. (2006), na área de Quaraí os derrames são predominantemente maciços, localmente apresentam diáclases horizontais e verticais, também podem formar vacúolos e amígdalas. Estas estruturas, quando presentes podem facilitar a circulação de águas de formação, alterando os materiais constituintes, minerais como: plagioclásios (fonte de Ca^{+2} e Na^{+}); os piroxênios augita e pigeonita, silicatos aluminosos de ferro (fontes de Ca^{+2} , Mg^{+2} e Fe^{+2}) para as águas subterrâneas.

Localmente são identificadas brechas de falhas, onde os arenitos interderrames são silicificados, como exemplo na localidade Saladeiro na porção oeste, em Quaraí. Formam-se aquíferos cristalinos fissurais. A composição das águas é Bicarbonatada Cálcica concordando com estudos realizados em outras porções da Bacia do Paraná por Rosa da Silva (1983), Lisboa e Menegotto (1999), Pérez et al. (2000), Perez e Rocha (2002) e Bittencourt et al. (2003) as águas deste aquífero são águas doces (<500mg/L) normalmente com baixo STD (Sólidos Totais Dissolvidos).

De acordo com Silvério da Silva et al. (2004 a), os depósitos aluviais e eluviais Cenozóicos, são compostos de areias e cascalhos inconsolidados ocorrem principalmente, no médio curso do Rio Quaraí até sua foz com o Rio Uruguai. Também ocorrem associados a arroios e sangas encaixadas em falhas de direção aproximada NE-SO nos arroios Areal, Garupá e Cati. Já as nascentes do Rio Ibirapuitã e do Arroio Pai-Passo encaixam-se em falhas de direção preferencial N-S, e já fazem parte da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí (U-50).

Os Arenitos Cenozóicos (sedimentos recentes) foram incluídos nas rochas sedimentares de constituição variável em termos de conteúdo de frações areia, silte e argila e ainda, localmente cascalhos, e grânulos de calcedônia, constituindo os Sedimentos Aluvionares. Também podem formar pacotes de espessura variável em torno 10 a 30m. Formam aquíferos livres. Podem apresentar-se com estruturas de *sets* de alto ângulo, eólicos ou sem estrutura interna constituídos por dunas. As dunas móveis ocorrem principalmente na região de Quaraí e Alegrete. Na calha do Rio Quaraí apresentam constituição silto-argilosa, podendo ocorrer blocos, seixos e grânulos, sua espessura não deve ser superior a 10m (Silvério da Silva et al., 2006).

3.1.4 Climatologia

Quanto ao clima enquadra-se como temperado chuvoso e quente, conforme classificação de Köppen. Porém, adaptado ao Brasil, o clima denomina-se subtropical úmido com verões quentes (Cfa), precipitação pluviométrica média anual de 1461 mm, não havendo estação seca (Nimer, 1989). Este valor pode ser utilizado para inferir-se a recarga subterrânea para os aquíferos, o que de acordo com Gregoraushuk (2001) é de 1 a 3% da precipitação média anual, portanto entre 15 a 45 mm/ano. Já Hausman (1995) estimou para a infiltração profunda da área da Bacia Hidrográfica do Rio Quaraí valores entre 50 e 100 mm/ano, sem fazer distinção entre os tipos litológicos.

A insolação anual está na faixa de 2500 a 2600 horas de insolação por ano e a direção predominante dos ventos é do quadrante Sudeste, de acordo com Presotto et al. (1973).

3.1.5 Vegetação

Predomina as formações campestres. A presença de matas restringe-se praticamente a manchas concentradas nas encostas dos chapadões de arenito, assim como as faixas que acompanham os cursos d'água (Marchiori, 1992).

A cobertura vegetal da Região da Campanha é a pastagem natural, que se apresenta sobre uma variedade de gramíneas, cuja altura varia de 10 a 50 cm. Pode-se apresentar em forma quase contínua ou em tufos, e quando esta forma acontece deixa alguns trechos do solo exposto (Camponogara, 2006).

3.2 Sistema Serra Geral/Sistema Aquífero Guarani

A água subterrânea do Aquífero Guarani encontra-se nos poros e fissuras de formações areníticas formadas pelos sedimentos flúvio-lacustres da Era Mesozóica do Período Triássico (Formações Pirambóia e Rosário do Sul no Brasil, Buena Vista na Argentina e no Uruguai); e sedimentos eólicos desérticos do Período Jurássico (Formação Botucatu no Brasil, Misiones no Paraguai e Tacuarembó na Argentina e no Uruguai). Estas apresentam idades entre 200 e 130 milhões de anos atrás, em geral cobertos por camadas de basalto (Formação Serra Geral) do Período Cretáceo e por rochas Permo-Triássicas de baixa permeabilidade onde ficam confinadas (www.sg-guarani.org).

As espessuras das camadas variam de 50 a 800 metros, as águas podem ser encontradas entre 50 a 1.500 metros de profundidade, podendo apresentar águas de composição mineral e hidrotermais (www.sg-guarani.org).

3.3 Riscos de contaminação da água subterrânea

O crescimento populacional e o desenvolvimento industrial e agrícola são fatores que impulsionaram inúmeros municípios a utilizarem as águas subterrâneas como forma de abastecimento público (Santos, 2004/2007).

As águas subterrâneas são utilizadas pelo homem através de fontes ou mananciais, onde brotam naturalmente e, principalmente, de poços que são perfurados.

De acordo com Araújo et al. (1995), o maior problema é o risco de deterioração do aquífero em decorrência do aumento dos volumes explorados, já que este somado as descargas naturais para rios e oceanos não podem ser superiores a recarga natural do aquífero, e do crescimento das fontes de poluição.

Conforme Issar (1993), a poluição das águas subterrâneas se origina de substâncias introduzidas no meio natural como: o uso excessivo e inadequado de agrotóxicos na agricultura; efluentes domésticos e industriais; por lançamento direto de águas servidas ou residuais em fossas sanitárias; vazamentos no transporte de produtos perigosos; por *necrochorume*, isto é, microorganismos que proliferam no processo de decomposição dos corpos nos cemitérios. A contaminação da água subterrânea por microorganismos de origem humana ou animal e a ingestão de substâncias tóxicas acumuladas nos organismos podem gerar sérios problemas a saúde das populações.

Para prevenir essa situação deve-se agir com medidas eficazes para o controle e manutenção do potencial quantitativo e qualitativo do Sistema Serra Geral/SAG, indicando áreas vulneráveis à contaminação, a partir das características naturais do aquífero.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Banco de dados com parâmetros hidrogeológicos e hidrodinâmicos

Durante a execução da pesquisa notou-se que existem muitas informações que não estão completas nos diversos bancos de dados, às vezes com algumas simplificações, como no caso da ocorrência de arenitos intertrápicos abaixo ou entre derrames vulcânicos, sendo apresentados no Perfil Geológico apenas à citação de uma Formação, ou seja, o aquífero principal. Existe falta de informações construtivas dos poços, da empresa executora, da profundidade do nível estático, falta o teste de bombeamento, portanto poucas informações de nível dinâmico. Os resultados das análises físico-químicas nem sempre apresentam todos os parâmetros, uma vez que a própria legislação do país com relação aos padrões de consumo humano para águas encontra-se em franca evolução, como a Portaria Federal N° 518 de março de 2004.

Foram cadastrados 129 poços no município de Quaraí, dois escavados e os restantes tubulares com profundidades variando entre 2 a 4m para os poços escavados e entre 17 a 192m para os poços tubulares.

Para o município de Quaraí encontraram-se no ano de 2007 até maio, 56 poços cadastrados no CPRM/SIAGAS apresentavam perfil geológico. Estes foram utilizados para o entendimento da continuidade lateral e vertical das unidades hidroestratigráficas e seus contatos litológicos.

Informa-se que a CORSAN/SURFRO de Quaraí executa coletas sistemáticas de água, com frequência mensal, as quais são enviadas para Porto Alegre ou para Rosário do Sul, também são realizadas avaliações do nível dinâmico dos poços mensalmente, conforme informações do Gerente da CORSAN de Quaraí em data 30/07/2004. As águas dos poços são analisadas no local dos poços duas vezes por dia.

Verificou-se que as maiores cotas altimétricas dos poços avaliados estão concentradas no setor Leste do Município, uma vez que a altitude da boca dos poços varia de 82 a 289m. Salienta-se que a altitude média do Município é de 112m, sendo a mínima de 70m próximo ao Arroio Garupá e máxima de 318m no Cerro do Cardal. Outro ponto que merece atenção situa-se na Coxilha São Rafael onde o poço (4300009817) apresentou uma cota altimétrica de 289m e um nível da água de 20m. Portanto, verificou-se que este poço representa um alto potenciométrico com uma carga de 269m.

A partir da “boca do poço” foram avaliadas medidas do nível da água subterrânea quando está em repouso, não influenciada por bombeamento. O nível da água apresentou uma ampla faixa de variação, entre o mínimo de 0,1m a um máximo de 76m. O nível da água foi mais profundo no poço (4300009212) da Estação de Tratamento de Água/CORSAN próximo à sede municipal, onde se registra um poço de nível estático de 76m penetrando os arenitos da Formação Botucatu. Este poço apresenta 52m de cobertura de basalto e entre 52 a 126m de arenito médio pertencente a Formação Botucatu.

Vazão é a medida do volume de água que passa a área perpendicular à direção do fluxo, num dado período de tempo (www.abas.gov.br). Verificou-se que as maiores vazões encontram-se próximas à sede municipal. Existem poços da CORSAN produzindo em arenitos intertrápicos (entre derrames de rochas vulcânicas), com vazões superiores a 100 m³/h. Em Artigas há um poço da *Obras Sanitárias del Estado/OSE* de acordo com o trabalho de Silvério da Silva et al. (2006) na profundidade de 400m com vazão de 200 m³/dia, bombeando 24 horas.

4.2 Espacialização da Superfície Potenciométrica

O município de Quaraí possui um total de 129 poços cadastrados no CPRM/SIAGAS. Apresenta-se a simulação destes poços com o uso do Programa Surfer 8.0 para espacializar as informações, obtendo-se cartogramas. Elaboraram-se os seguintes cartogramas: superfície potenciométrica (82 poços) e vulnerabilidade (56 poços). Alguns poços foram desconsiderados por apresentarem dados insuficientes para elaborar cartogramas.

A superfície potenciométrica representa a diferença do nível da água em relação à cota da boca do poço, representando uma carga sobre o *datum* vertical. Simularam-se 82 poços como mostra a Figura 2.

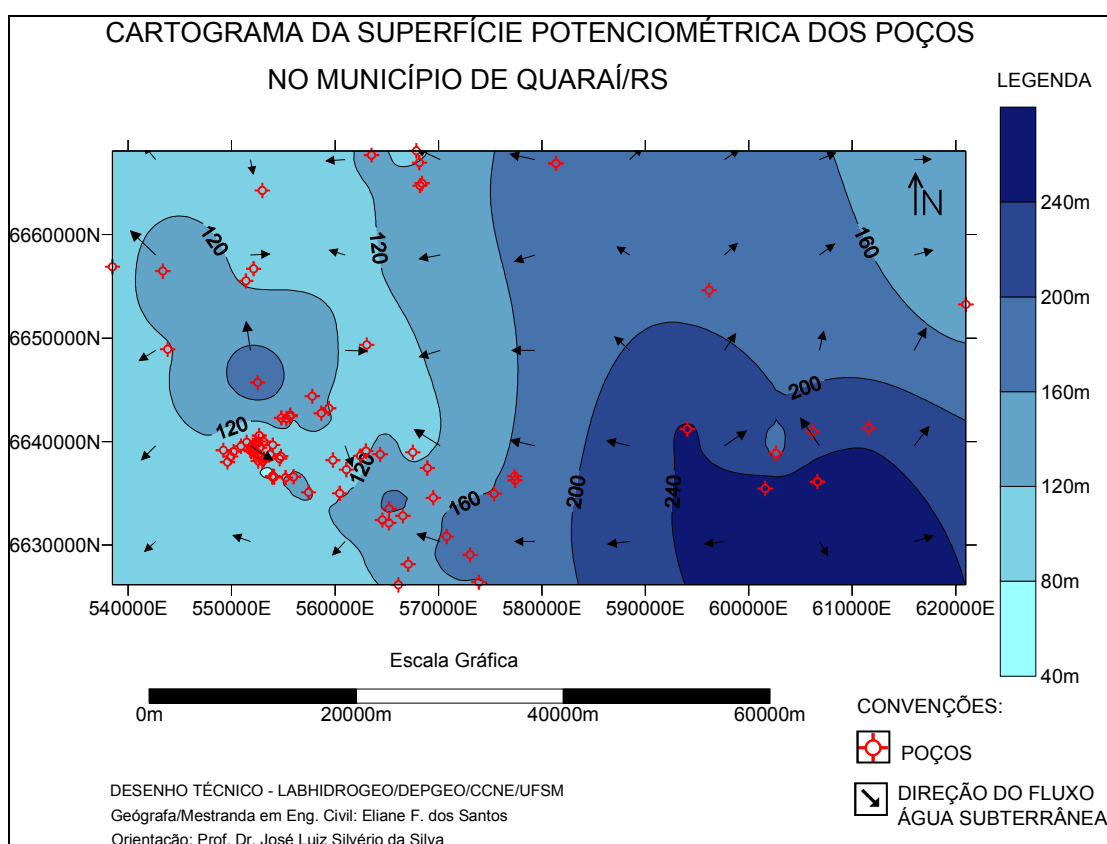


Figura 2 - Cartograma da Superfície Potenciométrica dos 82 poços simulados.

Nota-se que há uma contribuição do fluxo subterrâneo de direção Sudeste para os setores Norte e Noroeste do cartograma. A tendência geral do fluxo da água subterrânea direciona-se de Sudeste para Oeste na direção da sede municipal, contribuindo para a perenização das águas do Rio Quaraí U-60 (SEMA, 2006), situado ao Sudoeste do cartograma, aqui não representado. Informa-se que o ponto onde se observa a maior concentração de poços, situa-se a área urbana do município de Quaraí. Pontualmente também se observaram fluxos para Nordeste em direção a Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí, U-50 (SEMA, 2006).

Verifica-se no setor extremo Sudeste a existência de um alto potenciométrico localizado na Coxilha São Rafael. Neste poço de nº (430009817) observou-se a maior carga potenciométrica representada por 269m. Este alto também sofre influência do poço nº (4300009815) situado no Cerro dos Touros com uma carga de 262m e do poço nº (4300009806) localizado em São Manoel com uma carga de 244m. Outro alto topográfico de menor escala visualizou-se no poço nº (4300009797) situado no setor Noroeste do cartograma na localidade Estância Sotéia, com uma carga de 192m.

4.3 Vulnerabilidade Natural dos aquíferos

Simularam-se 56 poços que foram espacializados como ilustra a Figura 3. O cartograma de Índice de Vulnerabilidade apresenta área mais vulnerável no setor Noroeste e Sul do cartograma, diminuindo gradualmente na direção da cidade de Quaraí. Os prováveis fatores determinantes da atual situação de risco de contaminação avaliada das águas subterrâneas são: a litologia, o tipo de aquífero quanto à condição de ocorrência das águas subterrâneas, o volume das águas subterrâneas e o seu limite de sobrecarga.

Quanto aos tipos de aquífero ou sistema aquífero, ocorrem no Município, aquíferos livres e confinados. Aquífero livre, freático ou não confinado é aquele em que as camadas rochosas sedimentares porosas são permeáveis, e limitado na base por uma camada impermeável, onde a pressão da água na superfície da zona saturada está em equilíbrio com a pressão atmosférica com a qual se comunica livremente. São os aquíferos mais comuns constituídos na área de estudo pela Formação Botucatu e pela Formação Rosário do Sul. Estes são os mais explorados pela população e também são os que apresentam maiores riscos de contaminação (Silvério da Silva et al. 2004 b).

Aquífero confinado ou artesiano é aquele em que se encontra entre duas camadas rochosas impermeáveis ou o contato de uma camada permeável com uma impermeável sobrejacente, no qual a pressão da água na superfície da zona saturada é maior do que a pressão atmosférica naquele ponto, o que faz com que a água ascenda no poço para além da zona aquífera unidade hidroestratigráfica. Como exemplo a Formação Serra Geral, aquífero cristalino/fissural (Silvério da Silva et al. 2004 b).

A classe Extrema foi registrada em 1 poço em condição livre, em arenito da Formação Botucatu com nível estático raso de 3m.

A classificação Alta ocorre em 12 poços deve-se a presença de arenito da Formação Botucatu e da Formação Rosário do Sul em condição livre de ocorrência das águas subterrâneas. Registraram-se 2 poços escavados em basaltos da Formação Serra Geral, identificados por (4300002737 e 4300002738) em condição livre, apresentando um nível estático muito raso de 0,1m.

A classe Média deve-se a presença de basalto em condição livre, sendo que 2 poços em presença de basalto e 1 em arenito Botucatu, com variação de nível estático de 18m a 60m.

A classe baixa ocorreu em apenas em 1 poço, em aquífero confinado de basaltos com nível estático raso.

A classe predominante foi a Desprezível com 39 poços, principalmente em pontos próximos á cidade de Quaraí, e no setor Nordeste do cartograma. Esta classe corresponde a aquíferos confinados, geralmente em presença de basalto.

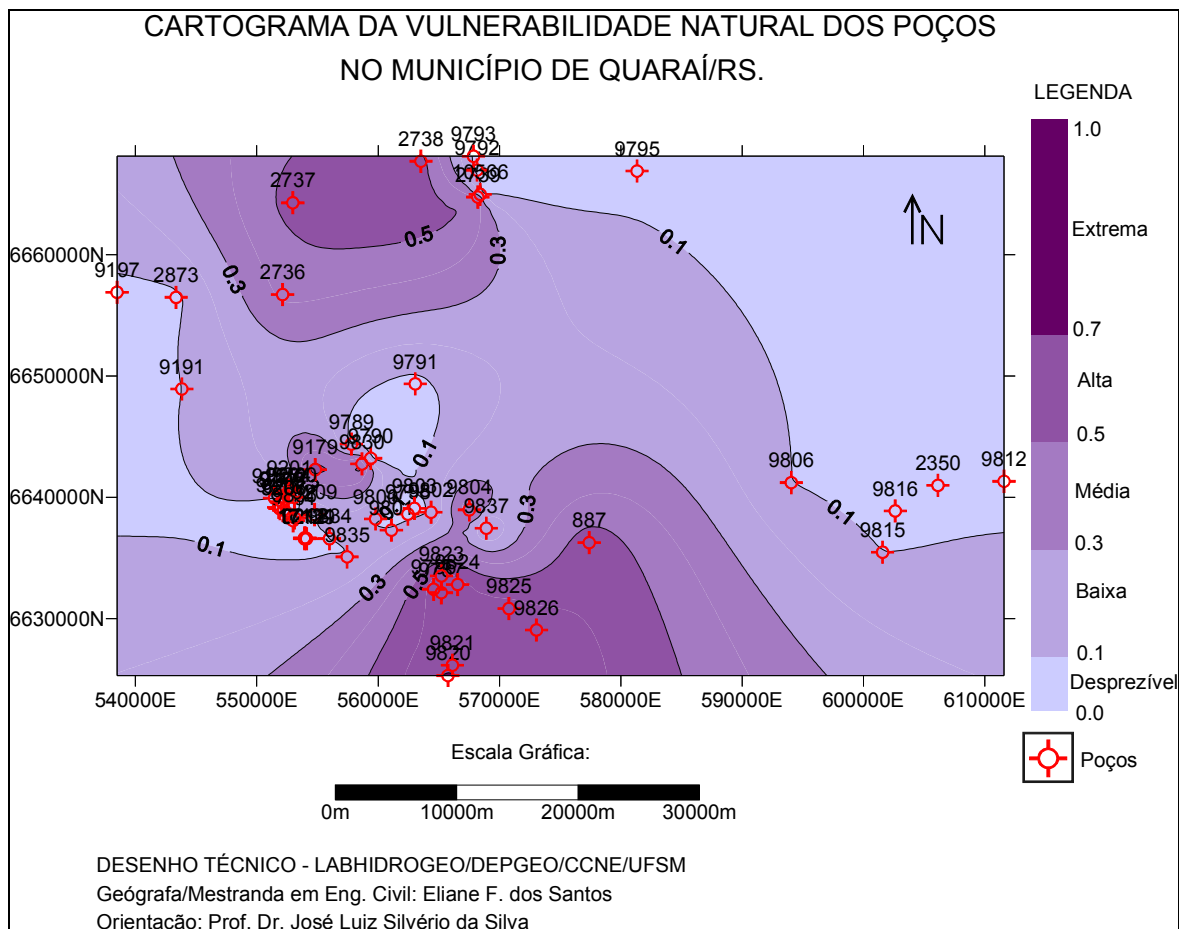


Figura 3 - Cartograma do índice de vulnerabilidade de 56 poços no município de Quaraí/RS

Portanto, em geral, a vulnerabilidade da área de estudo foi classificada como baixa ou desprezível, quando ocorre em aquíferos confinados em basalto, preferencialmente em níveis estáticos mais profundos, ocasionando um difícil acesso a um contaminante oriundo da superfície do terreno. Já a vulnerabilidade média e alta é determinada pela ocorrência de arenito ou basalto em aquíferos livres, com níveis estáticos mais rasos, e, portanto, possivelmente mais vulneráveis à contaminação por substâncias orgânicas e/ou inorgânicas.

Porém, se não houver uma carga contaminante (agente poluidor) sobre áreas com vulnerabilidade extrema, esta não apresenta riscos de contaminação.

Na cidade de Quaraí, foram localizados oito postos de combustíveis. Observou-se que de uma forma geral a região central da cidade possui um sistema de saneamento básico eficiente em relação à coleta. A estação de tratamento de esgotos localizada no bairro Saladeiro encontra-se em funcionamento desde o ano de 2006. Ainda salienta-se que há uma significativa parcela de esgoto não tratado escoando a céu aberto, próximo dos locais de captação da água servida à população.

Na zona rural é comum a pecuária extensiva, com criação de gado (bovino e ovino) os quais podem alterar a qualidade da água a partir dos produtos de origem animal, bem como os resíduos dos banhos com agroquímicos comuns neste tipo de atividade ainda sem normatização quanto ao destino final. Cita-se o poço (4300009155) do Matadouro Municipal e o Antigo Curtume (4300009160). Do trabalho de Silvério da Silva et al. (2006) outro merece ser citado o poço da escola Barroin (43000009178) localizado próximo do Lixão Municipal que se encontrava contaminado por metais pesados (Fe, Al) e por coliformes.

Dessa forma, recomenda-se que sejam realizados monitoramentos periódicos da qualidade físico-química e dos níveis das águas subterrâneas preservando-se seus usos para a atual e futuras gerações.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Os resultados apresentados e a adequação do método utilizado nesta pesquisa são importantes instrumentos no subsídio de políticas de planejamento territorial e ambiental, uma vez que definem áreas mais ou menos suscetíveis à contaminação dos aquíferos.

A evidência do cenário potencial de risco de contaminação da água subterrânea do SAG, na área de estudo, a partir de suas áreas de recarga e afloramento, pela presença de arenito Botucatu, contribui, portanto, para que nesta pesquisa sejam estabelecidos os seguintes cuidados:

- Nas lavouras controlar o uso excessivo de fertilizantes e pesticida, orientando os agricultores sobre as formas e tipos de cultivos e os volumes de água a serem aplicados na irrigação;
- Limitar o estabelecimento e a operação de aterros sanitários;
- No lixão, usar lonas plásticas e camadas de argila de baixa permeabilidade, visando à impermeabilização para a minimização do espalhamento do chorume;
- Fossas sépticas devem ser distantes de águas superficiais, em locais onde o lençol freático esteja a mais de 10m de profundidade e distante entre 100 a 150 metros de poços;

- Evitar colocar resíduos sólidos, líquidos ou gasosos em poços desativados, mantendo-os sempre lacrados, afim de que estas substâncias não atingem os aquíferos, pois são pontos potenciais de contaminação.
- Resíduos industriais ou de agronegócios (matadouros, curtimentos) devem ser tratados antes de serem despejados no solo;
- Os postos de combustíveis e as oficinas mecânicas devem ter caixa separadora de resíduos, conforme a Resolução nº273/2000;
- Nos banhos de gado reservar e tratar os resíduos.
- Os cemitérios, de acordo com a legislação Resolução nº 335/2003 devem ter licença ambiental.

Em áreas de recarga, onde haja maior risco de contaminação, definidos pelo cruzamento da vulnerabilidade natural dos aquíferos e presença de uma carga poluidora, numa estratégia voltada para os empreendimentos já instalados, recomenda-se implementar estudos de detalhamento referentes à hidrogeologia, ao fluxo subterrâneo, as características hidráulicas do aquífero, em conjunto com uma análise do uso de água superficial e subterrânea na região. Caso os impactos negativos sejam confirmados é necessário exigir medidas para redução dos riscos, como programas de monitoramento preventivos. Caso contrário, é preciso deslocar o empreendimento para áreas de menores riscos de contaminação.

A avaliação e a espacialização de vulnerabilidade poderão servir de instrumento nas decisões de estudos prévios e níveis de exigências, em empreendimentos ainda a serem implantados.

Cabe aos órgãos competentes, bem como a população local, manterem atualizados o cadastro de poços, registrando o tipo de uso outorgado e licenciado pelo Departamento de Recursos Hídricos-DRH/Secretaria do Meio Ambiente-SEMA/Governo do Estado do Rio Grande do Sul.

Propõem-se também campanhas de monitoramento da qualidade físico-química e bacteriológica, executando-se coletas e análises de amostras de águas de poços e/ou fontes, principalmente situadas próximas de possíveis atividades poluidoras.

AGRADECIMENTOS

A CORSAN/SURFRO de Quaraí, a CORSAN/SURHMA de Porto Alegre, a Prefeitura de Quaraí, a EMATER/Quaraí, a OSE/Artigas, a *Intendência* Municipal de Artigas.

BIBLIOGRAFIA

ARAÚJO, L. M.; FRANÇA, A. B.; POTTER, P. E. (1995). *Aquífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai: Mapas Hidrogeológicos das Formações Botucatu,*

- Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Taquarembó.* Curitiba/PR: PETROBRÁS/UFPR, 16 p., 8 mapas.
- ARAÚJO, L. M., FRANÇA, A. B., POTTER, P. E. (1999) “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: 1999, pp. 317-336.
- BITTENCOURT, A.V.L., et al. (2003). “A influência dos basaltos e de misturas com águas de aquíferos sotopostos nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral Na Bacia do Rio Piquiri, Paraná, BR.” *Revista Águas Subterrâneas*, nº17/Maio de 2003. pp. 67-75.
- BRASIL, Estado do Rio Grande do Sul, Decreto nº 42047, de 26/12/2002. Trata dos aquíferos no Estado. Disponível em: <http://www.sema.rs.gov.br/recursoshidricos>. Acesso em: Set/2006. Arquivo pdf., 7 p.
- BRASIL, Sistemas de Informações de Águas Subterrâneas/SIAGAS, Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais/CPRM. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/siagas>. Acesso em: Maio/2007.
- CAMPONOGARA, I. (2006). “*Vulnerabilidade Natural no Sistema Aquífero Guarani e análise de parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas em Quaraí, BR e Artigas, UY.*” (2006). 106 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.
- COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO/CORSAN. SURFRO (2004).
- CPRM (1973). *Projeto Fronteira Sudoeste do Rio Grande do Sul, Mapeamento Geológico Folha SH.21-Z-A, Livramento.* Escala 1:250.000.
- FOSTER, S.; HIRATA, R. (1993). *Determinação de riscos de contaminação das águas subterrâneas: uma metodologia embasada em dados existentes.* São Paulo: Instituto Geológico, 92 p.
- FOSTER, S.; et al. (2003). *Protección de la Calidad del Agua Subterránea: guia para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales.* Banco Mundial. Washington, D.C.: Mundi-Prensa Libros, S.A., 2003.
- FRANTZ, L. C. (2005) *Avaliação do Índice de Vulnerabilidade do Aquífero Guarani no Perímetro Urbano da Cidade de Santana do Livramento – RS.* 121f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.
- FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA (2004). *Resumo Estatístico RS.* Porto Alegre:FEE, 2004. Disponível em: <http://www.fee.rs.gov.br> Acesso em: Abril/2007.
- GREGORAUSCHUK, J.D.L.(2001). Disponível em: <http://www.sg-guarani.org>. Acesso em: Jul/2001.
- HAUSMAN, A. (1995). “*Província Hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul – RS.*” *Acta geologica leopoldensia.* Série Mapas, nº 2, UNISINOS, pp. 1-127.
- ISSAR, A. S. (1993). *Era uma vez na Suméria.* O correio da Unesco. Rio de Janeiro: FGV, v. 21, n. 7, Jul. 1993, pp. 12.
- LISBOA, N. A. (1996). *Fácies, Estratificações Hidrogeoquímicas e seus controladores Geológicos, em unidades Hidrogeológicas do Sistema Aquífero Serra Geral, na Bacia do Paraná, Rio Grande do Sul.* (Tese de Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.
- LISBOA, N.A. e MENEGOTTO, E. (1999). “*Condicionantes geoquímicos do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul, Brasil*” in *Anais do V Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa e VII Congresso Brasileiro de Geoquímica, Salvador/BA.* 1999, pp. 134-136.
- MACHADO, J.L.F. (2005). “*Compartimentação espacial e arcabouço hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul.*” Universidade do Vale do Rio dos Sinos/UNISINOS/Departamento de Geologia, São Leopoldo/RS. pp. 237: ilustr. CDU 556.3 (816.5).
- MARCHIORI, J. N. C. (1992). “*Areais no Sudoeste do Rio Grande do Sul: Elementos para uma História Natural.*” *Ciência e Ambiente.* Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, v. 3, n. 5, jul/dez. 1992. pp. 65-90.
- MONTAÑO, J. et al.(2003). “*Recursos Hídricos subterráneos-El Sistema Acuífero Guarani (SAG)*” Sin dato (parece un capítulo de libro, Capítulo IX - Recursos Hídricos Subterráneos), pp. 191-212.

- NIMER, E. (1989). *Climatologia do Brasil*. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 422 p.
- PÉREZ, A.; ROCHA, L.; DECOUD, P.; CARBAJAL, A. (2000). “*Comportamento del Acuífero Guaraní en la ciudad de Artigas/Uruguay.*” in Anais do 1st Joint World Congress on Groundwater. Fortaleza/CE/Brasil, pp. 1- 19.
- PÉREZ, A., ROCHA, L. (2002). “*Aportes al conocimiento del Acuífero Guaraní. Area Ciudad de Rivera-Uruguay.*” Groundwater and Human Development (OSE, Obras Sanitarias del Estado, Uruguay), pp. 598-605.
- PORTARIA FEDERAL-Ministério da Saúde, Nº 518, de 25/03/2004.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE QUARAÍ (1998). Secretaria de Saúde e Meio Ambiente. Plano Municipal de Saúde de Quaraí, 1998.
- PRESOTTO, C. A.; DIAS, A.; KIRCHNER, A.; GARCIA, P. F. (1973) “*Projeto Hidrogeologia da Fronteira Sudoeste do Rio Grande do Sul.*” Relatório Final. Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais. Porto Alegre: CPRM, 263 p.
- RADAMBRASIL (1986). Folha SH. 22 Porto Alegre e parte das Folhas SH. 21 Uruguaiana e SI. 22 Lagoa Mirim: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra/Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- Rio de Janeiro: IBGE, 1986. 796 p. 6 mapas. il.
- ROSA DA SILVA, B. G. (1983). *Estudo Hidroquímico e Isotópico da Águas Subterrâneas do Aqüífero Botucatu no Estado de São Paulo.* (Tese de Doutorado). USP/São Paulo/Brasil, 1983.
- SANTOS, E. F. dos. (2004). *Avaliação da Vulnerabilidade dos poços no município de Quaraí-RS: Prática de Educação Ambiental.* Relatório Final. PROLICEN/2004. Departamento de Geociências, CCNE/UFSM, 41 p.
- _____. (2007) “*Banco de Imagens: Uma Proposta de Educação Ambiental.*” Revista Ciência & Natura. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2007.
- SECRETARIA GERAL DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI. Disponível em: <<http://www.sg-guarani.org>>. Acesso em: Abril/2007.
- SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; SANTOS, E. F. dos.; FRANTZ, L. C.; MALHEIROS, R. P.(2004 a). “*Arcabouço Geológico-Geomorfológico da Bacia hidrográfica do Rio Quaraí – Rio Grande do Sul/Brasil.*” in Anais do V Simpósio Nacional de Geomorfologia e I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia: Geomorfologia e Riscos Ambientais. UFSM, Santa Maria/RS, 2 a 7 ago. 2004. pp. 15.
- SILVÉRIO DA SILVA, J. L., MAZIERO, L.; SANTOS, E. F. dos. (2004 b). “*Impactos da atividade humana sobre o solo – Aqüíferos.*” in Anais do I Fórum Solos e Ambiente, UFSM, Santa Maria/RS. Pallotti, 2004. pp. 145-167.
- SILVÉRIO DA SILVA, J. L. et al. (2006). Projeto Nº 10, Fundo das Universidades. Caracterização de áreas de recarga e descarga do SAG em Rivera-Santana e Quaraí-Artigas. Relatório Final, 194 p., Anexos: ilustrado. UFSM/UdeLAR, 2006.
- SUERTEGARAY, D. M. A. (1987). *A Trajetória da Natureza: um estudo geomorfológico sobre os areas de Quaraí-RS.* Tese de Doutorado. Geografia Física (Geomorfologia). Universidade de São Paulo- FFLCH- Departamento de Geografia, 1987.
- _____. (1998). *Deserto Grande do Sul: Controvérsia.* 2 ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 109 p.
- WREGE, M. (2006). *Conceitos.* ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS/ABAS. Disponível em: <http://www.abas.org.br>. Acesso em: Jul/2006.
- ZINGANO, A. C. (2004). *Surfer para Windows – Guia de consulta.* Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Laboratório de Pesquisa Mineral e Planejamento Mineiro. Notas de aula, Curso 2004, 20 p.,ilustrado.