

AValiação DA VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE SANTA CRUZ DO SUL, RS/BRASIL

Mónica Montaña Martínez¹ & José Luiz Silvério da Silva²

Resumo - Em função da expansão populacional do planeta o uso dos recursos hídricos vem sendo ampliados em função da necessidade de incrementar a produção de alimentos, bens transformados pela indústria, além do aumento dos resíduos e sua disposição. A pesquisa realizou-se no município de Santa Cruz do Sul, RS-Brasil, utilizando dados pré-existentes, em área de ocorrência do SAG. As informações foram espacializadas através da metodologia GOD, e do programa SURFER com uso de SIG. Este método prevê a avaliação da vulnerabilidade natural dos aquíferos através da avaliação do **G**= grau de confinamento hidráulico, **O**: ocorrência do estrato susprajacente relacionado as litologias penetradas no aquífero, e **D**: distância do nível da água. Através de uma planilha Excel dispôs-se vários parâmetros hidrodinâmicos e físico-químicos. Ilustra-se a direção do fluxo subterrâneo, as concentrações de flúor e o índice de vulnerabilidade obtido. A faixa de variação do flúor foi de 0,0 até 3,6 mg/L, e o índice de vulnerabilidade obtido, apresentou dos 25 poços simulados: 4 poços na classe desprezível, 7 poços na classe baixa, 13 poços na classe média e apenas 1 na classe alta. Apresentam-se aspectos relativos à legislação das águas subterrâneas nos planos de bacias hidrográficas e seu uso para abastecimento público.

Abstract - The resulted population increment in our Planet we need to use more water resources, surface and/or groundwater to produce foods in agricultural irrigated management, mineral matter transformed by industry with resulting more solid waste production, leaches and landfill planning. This study were executed at Santa Cruz do Sul Municipal area, Southern Brazil, Rio Grande do Sul State at GAS outcrops. We use primary data without field works. These informations were specialized using GOD methodology, **G** means the hydraulic confinement grade, **O** occurrence of litologies and **D** means the water table level. We used GIS and software SURFER. The hydraulic and physico-chemical parameters were disposed in one Microsoft Excel table. We are able to include groundwater flows, the fluorine concentrations and the vulnerability index. The range of the

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Hidráulica, Mestranda do Curso de Pós-graduação em Integração Latino-Americana MILA/UFSM, Santa Maria, RS - Brasil - monicamontanabr@yahoo.com

² Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Geociências, Santa Maria, RS-Brasil - silverio@base.ufsm.br

F⁻ concentrations were 0.0 to 3.6 mg/L. 25 wells were simulated and the results obtained were: 4 wells depreciable class, 7 wells little, 13 wells media and only one in a high class. We present and discuss the ground waters policy and its principal uses.

Palavras-Chave – vulnerabilidade; flúor; aquíferos.

INTRODUÇÃO

De quanta água doce dispõe o Planeta atualmente? De um volume duas vezes menor do que há cinquenta anos atrás. Em 1950, as reservas mundiais (após dedução da água utilizada na agricultura, na indústria e no consumo doméstico) elevavam-se a 16.800 m³ *per capita* e por ano; hoje diminuíram para 7.300 m³, devendo limitar-se a 4.800 m³, para os próximos 20 anos (UNESCO, 1999).

Cada gota de chuva que cai em solo descoberto é um agente da erosão, uma minúscula bomba que explode e abre uma pequena cratera no ponto de impacto. Embora as gotas de chuva sempre tenham sido louvadas pelos homens, sobretudo em tempos de seca, sabe-se que a erosão pela chuva representa o primeiro passo na destruição da superfície do terreno. É a chuva que desgasta as cristas dos montes e destaca as partículas de terra, arrastadas em seguida pelas águas. Em média, 720 milímetros de chuvas precipitam anualmente sobre as massas continentais, variando este volume desde 50 mm, no Vale da Morte, na Califórnia nos EUA, até cerca de 11.400 mm nas encostas do Himalaia. Parte das chuvas volta à atmosfera por evaporação e/ou evapotranspiração, parte escoar na superfície do terreno, em função dos tipos rochosos, da porosidade, da permeabilidade ou dos tipos de solos, da inclinação do terreno, da quantidade e dos tipos de vegetação, bem como parte se infiltra no subsolo para formar os aquíferos subterrâneos, entendidos como, reservatórios de água, que podem ser explorados para abastecimento humano, industrial, na agricultura de forma racional).

A região de Santa Cruz do Sul, localizada na Depressão Central do Rio Grande do Sul, distando cerca de 130 km, a Oeste de Porto Alegre, área de colonização tipicamente de origem alemã, desenvolve-se um importante pólo industrial metal-mecânico, alimentício e da cultura do tabaco. O uso dos recursos hídricos na indústria de transformação como um insumo, no abastecimento humano, bem como o uso na agricultura vem ampliando com a expansão populacional, e portanto merece atenção na disposição final dos resíduos, tais como esgotos *in natura*, aterros sanitários, cemitérios, lixões, usos de agrotóxicos em culturas como o tabaco e o arroz irrigado.

Estudos desenvolvidos pela Universidade de Santa Cruz do Sul, UNISC no ano de 1998 (Baccar, 1998) durante o monitoramento da qualidade físico-química dos poços *artesianos* da

região do Vale do Rio Pardo, apresentaram conclusões relativas a concentração de flúor nas águas subterrâneas. Silvério da Silva (1997) e Silvério da Silva *et al.* (2002) estudou geoquimicamente os produtos de calcificação associados às rochas sedimentares da região, detalhando estudos de materiais geológicos, de ossos fósseis, coprólitos, rochas sedimentares, amostras de calha de poços tubulares, buscando interpretar a origem do flúor para as águas subterrâneas no pacote rochoso conhecido atualmente por Aquífero Guarani ou Sistema Aquífero Guarani/SAG.

De acordo com Hausman (1995) na bacia ocorrem duas Províncias Hidrogeológicas, Gondwânica Mesozóica e a Basáltica, esta classificação leva em consideração as características geológicas, morfológicas e climáticas, uma vez que a ocorrência e o comportamento das águas subterrâneas são em parte reflexo delas.

A Província Gondwânica foi subdividida em subprovíncias, as quais ocorrem na região; a Subprovíncia Rosário do Sul e Subprovíncia Botucatu, as quais juntas receberam a denominação de Aquífero Gigante do Mercosul (Araújo *et al.*, 1995 e Araújo *et al.*, 1999) e atualmente é conhecida como Aquífero Guarani ou Sistema Aquífero Guarani (ABAS, 2003; ANA, 2003 e SG-Guarani/2004). A Província Basáltica faz parte de um dos maiores derrames de lava do Planeta, recobre cerca de 1.200.000 km², estendendo-se por quatro países, Brasil, Uruguai, Paraguai e Uruguai. Recobre as rochas Gondwânicas da Bacia do Paraná, com idade estimada entre 135 e 95 milhões de anos. No Mapa Hidrogeológico do Brasil DNPM (1983) é denominada de Paraná.

Merece ser destacado que o conceito de Bacia Hidrográfica aplicado a Gestão dos Recursos Hídricos previsto na Lei Federal Nº 9.433/97, como unidade básica de pesquisa necessita ser adequado às peculiaridades dos recursos hídricos subterrâneos previsto nas resoluções Nº 9 (11/06/2000) e Nº 15 de (11/01/2001) do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), devido aos seguintes aspectos:

Bacia Hidrográfica de acordo (Rocha, 2000) é a unidade ambiental que drena as águas das chuvas para um curso principal com vazão efluente (saída) desaguardo no mar ou em um grande lago.

Considerando-se que as águas meteóricas, superficiais e subterrâneas são partes integrantes do Ciclo Hidrológico, e que os aquíferos podem apresentar zonas de descargas e de recarga pertencentes a uma ou mais Bacias Hidrográficas sobrejacentes, uma vez que os reservatórios subterrâneos funcionam como condutos, sob pressão, podendo interconectar Bacias Hidrográficas dispostas a vários quilômetros umas das outras.

De acordo com o previsto na Resolução Nº 15 do CNRH, entende-se por:

- * Águas Subterrâneas: as águas que correm naturalmente ou artificialmente no subsolo.
- * Aquífero: corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos;
- * Corpo Hídrico Subterrâneo – volume de água armazenada no subsolo.

De acordo Wrege (2002, ABAS 2003), a Província Hidrogeológica é uma região que possui sistemas aquíferos com condições semelhantes de armazenamento, circulação e qualidade de água. Define como Sistema Aquífero o domínio aquífero contínuo, ou seja, as partes estão contidas por limites (finito) e estão ligadas hidraulicamente (dinâmico).

Hausman (1995) sugere que na classificação de aquíferos granulares, além do conceito de aquífero seja levado em consideração a “Unidade Hidroestratigráfica” definida como um conjunto de horizontes aquíferos confinados e interconectados hidraulicamente, formando parte integrante de uma coluna estratigráfica”. Neste conceito reuniu as rochas sedimentares, como os arenitos na definição de aquíferos granulares e as rochas cristalinas e/ou cristalofilianas como aquíferos fraturados, ex. derrames de rochas vulcânicas, como os da Formação Serra Geral.

Buscando-se exemplificar estes conceitos utilizou-se para esclarecimento o termo Aquífero Gigante do Mercosul, segundo Araújo *et al.* (1995, 1999) foi a denominação formal dada a parte do Sistema Hidroestratigráfico Mesozóico, constituído por estratos arenoso-pelíticos do Triássico (formações Pirambóia e Rosário do Sul, no Brasil e, Buena Vista no Uruguai) e do Jurássico (formações Botucatu, no Brasil, Misiones no Paraguai e Tacuarembó no Uruguai e na Argentina).



fonte: (DNPM, 1983), ABAS.

Figura 1 - Mapa Hidrológico do Brasil 1:5.000.000,

A Figura 1, abrange parcialmente oito estados brasileiros cobrindo cerca de 839.000km², da porção brasileira da Bacia Intracratônica do Paraná (MS= 213.000 km², RS= 157.600 km², SP=155.800 km², PR= 131.000 km², GO= 55.000 km², MG= 51.300 km², SC= 49.200 km², e MT= 26.400 km²) que apresenta no Município de Alegrete, no Estado do Rio Grande do Sul, uma espessura de 845m de arenitos incluindo-se a porção aflorante e a não aflorante, coberta pelos

derrames vulcânicos da Formação Serra Geral, no Brasil e Lavas Arapey na Argentina. Este sistema estende-se em direção ao Paraguai, cobrindo cerca de 71.700 km², na Argentina 225.500 km², e no Uruguai 58.500 km², formando a Bacia do Chaco-Paraná, englobando várias Bacias Hidrográficas e uma Província Hidrogeológica, denominada Paraná.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área do estudo encontra-se situada em parte de três Bacias Hidrográficas de acordo com (SEMA, 2002 e 2003), G 40 Taquarí-Antas 57%, G 90 Pardo 41% e G 70 Baixo Jacuí 2%. A letra G, caracteriza a Região Hidrográfica do Guaíba.

De acordo com dados do (IBGE, 2000) a população urbana de Santa Cruz do Sul é de 93.786 habitantes e a população rural 13.845 totalizando 107.632 habitantes.

A base da economia reside na indústria alimentícia, metal-mecânica e na agricultura, especialmente na cultura do tabaco. Nesta região localizam-se as maiores indústrias de transformação de fumo do país. Para transformação deste produto utilizam água subterrânea, não só para abastecimento humano em áreas rurais, como também no processo produtivo.

A Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) abastece o Município de Santa Cruz do Sul, com água tratada oriunda do Reservatório Lago Dourado, e de 3 poços tubulares anteriormente administrados pela prefeitura municipal, os quais foram repassados à CORSAN. Salienta-se que com a inauguração deste reservatório de superfície, muitos poços tubulares da CORSAN, foram desativados, principalmente devidos as exigências da Portaria 10/99 da Secretaria da Saúde do Estado do Rio Grande do Sul e da Portaria Federal Nº 1.469/2000, que estipularam limites de concentrações de flúor na faixa de 0,6 até 0,9 para a estadual e de 1,5 mg/L de flúor pela portaria federal.

O Município de Santa Cruz do Sul, geomorfologicamente, encontra-se na zona de transição entre a Depressão Central constituída de rochas sedimentares areno-pelíticas com derrames vulcânicos da Formação Serra Geral, formando relevos em coxilhas, relevos residuais e relevos tabulares (nos derrames vulcânicos e nos arenitos intertrapeanos).

Litologicamente ocorrem afloramentos do Sistema Aquífero Guarani (SAG) constituído localmente por rochas de idade Mesozóicas, Triássicas, pertencentes a Formação Rosário do Sul, a Formação Santa Maria e a Formação Botucatu. As rochas vulcânicas ácidas e básicas, de idade Juro-Cretáceas pertencentes a Formação Serra Geral.

A Formação Rosário do Sul, constitui-se de arenitos finos, de cores alaranjadas a avermelhadas, contendo localmente cimento carbonático e calcretes, indicando paleoambiente flúvio-eólico. Apresentando-se como um aquífero livre ou confinado pelos derrames de rochas

vulcânicas, normalmente apresenta vazões da ordem de 0,32 até 10 m³/h. No Estado do Rio Grande do Sul também é utilizado o termo equivalente de Formação Sanga do Cabral Andreis *et al.*(1980).

A Formação Santa Maria, constituída por dois membros arenosos, um basal constituído por areias grossas a média de paleoambiente fluvial, formando um aquífero de grande potencialidade em termos de vazões. O Membro Alemoa constituído por fácies predominante pelíticas (argilo-siltosas) formam um Aquiclude (camadas de baixa permeabilidade), são de cores vermelhas intensas, podem conter fósseis de répteis fósseis do Período Triássico, também apresentam concreções calcárias (calcretes estudadas por Silvério da Silva, 1997 e Silvério da Silva *et al.*, 2002). Salienta-se que tanto os ossos de répteis fósseis, de composições originalmente fosfáticas, podem conter até 2,5% de flúor formando flúorapatitas, o que pode participar na composição das águas subterrâneas, tornando-as inclusive impróprias para consumo humano (Silvério da Silva, 2002, 2003). Estas rochas de baixa permeabilidade natural são os melhores terrenos para serem dispostas obras de engenharia que necessitem realizar disposição de efluentes no subsolo. Tais como Distrito Industrial de Santa Cruz do Sul, em aterros sanitários, lixões, cemitérios, outros.

A Formação Botucatu, constituída por arenitos médios a finos, bem selecionados, formam o melhor aquífero da região, apresentam vazões da ordem de 55,38 m³/h. Sua porosidade em torno de 14-30%, são rochas que constituem aquíferos livres, portanto muito vulneráveis a contaminação (Araújo *et al.*, 1999).

Salienta-se que litologicamente a Formação Botucatu, um arenito, tem sua secção-tipo na cidade homônima no Estado de São Paulo, aflorando ou em subsuperfície em oito estados brasileiros. Já a Formação Rosário do Sul, arenitos de ambiente flúvio-eólico, apresenta sua secção-tipo no Município de Rosário do Sul (região central do estado), é estratigraficamente equivalente temporal e paleoambiental da Formação Pirambóia, identificada por exemplo, nos estados do centro do país, como São Paulo e Paraná. As características faciológicas que ocorrem muitas vezes em alguns locais e não em outros, isto faz destes aquíferos serem corpos anisotrópicos, com variações laterais e na vertical, em função da tectônica e de sua evolução paleoambiental. No Estado do Rio Grande do Sul, a Formação Rosário do Sul apresenta localmente cimento carbonático, ou até níveis de concreções carbonáticas como os calcretes e as concreções silicosas (silcretes) quando considerada como Grupo Rosário do Sul (Andreis *et al.*, 1980), na Fm. Santa Maria, Membros Passo das Tropas e Alemoa Silvério da Silva (1997), não citadas nos registros do Estado de São Paulo.

A Formação Serra Geral, constituída de derrames e diques de rochas vulcânicas básicas (basaltos) e/ou granófiros ácidos, cobrem parcialmente a porção Norte do Município de Santa Cruz do Sul, formam um aquífero do tipo fissural, constituído por fraturas, que podem ou não estarem conectadas. Uma vez que ocorrem diques básicos discordantes entre os estratos sedimentares, estes podem funcionar

como uma barreira para circulação do fluxo subterrâneo, o que localmente pode fornecer águas com teores de sais mais elevados. As vazões nestas rochas são da ordem de 12-20 m³/h.

Associados as Planícies aluviais, desenvolveram-se sedimentos arenosos, cascalhos, siltes; constituindo os depósitos de aluviões Cenozóicos, Quaternários, no leito do Rio Pardinho (CPRM, 1986).

O clima da região foi considerado de tipo Cfa_h. (Hausman, 1995):

C = temperatura média do mês mais frio entre 18 e 3 °C;

f = sem estação seca, a precipitação média do mês mais frio é de uma a três vezes superior a do mês mais quente;

a = média do mês mais quente superior a 22 °C – verões quentes;

h = temperatura média anual superior a 18 °C – inverno brando com invernos moderados, com precipitação pluviométrica anual entre 1600-1800 mm/ano, uma evapotranspiração potencial da ordem de 800-900mm/ano, portanto um balanço hídrico positivo. Este autor considera para a região uma infiltração para os aquíferos profundos de ordem de 100 mm/ano. Já utilizando-se as sugestões de (Gregoraschuk 2001/2004), a infiltração dos aquíferos profundos é da ordem de 1 até 3% do total de precipitações pluviométricas de uma região, conclui-se que da ordem de 16-54 mm/ano.

A evolução do conceito de vulnerabilidade, foi discutido por (Foster *et al.*, 2003) definindo-a como a vulnerabilidade à contaminação do aquífero como aquelas características intrínsecas dos estratos que separam a zona saturada do aquífero da superfície do terreno, o qual determina a sua sensibilidade a ser adversamente afetado por uma carga contaminante aplicada na superfície.

METODOLOGIA

A metodologia utilizada consistiu na avaliação de dados pré-existentes (Foster e Hirata, 1993 e Foster *et al.*, 2003), método *GOD*, obtendo-se diferentes classes de vulnerabilidade: na classe desprezível a variação do índice de vulnerabilidade é de 0,0 a 0,1, a classe baixa entre 0,1 e 0,3, a média entre 0,3 e 0,5, a alta entre 0,5 a 0,7 e a classe extrema entre 0,7 até 1,0. Estas classes são obtidas pelo produto entre os três níveis de parâmetros avaliados em cada poço.

“G” Grau de confinamento hidráulico

“O” Ocorrência do substrato, características litológicas e grau de consolidação da zona não saturada

“D” Distância ao nível da água subterrânea ou profundidade nível estático.

O grau de vulnerabilidade é obtido pelo produto entre as colunas “G O D”.

Informações físico-químicas de trabalhos acadêmicos anteriores (Baccar 1998), (Silvério da Silva 1997, 2002 e 2003). Informações de poços tubulares da CORSAN/SURMA/Porto Alegre, Programa de Açudes e Poços da Secretaria de Obras e Saneamento do Estado do Rio Grande do Sul, Pesquisa de campo com uso do *Global Position System* (GPS) para obtenção das coordenadas geográficas ou sua transformação para coordenadas planas, Universal Transversa de Mercator/UTM, utilizando-se como datum vertical: Imbituba - Santa Catarina e datum horizontal: Minas Gerais, SAD 69, de posição 51° W de Greenwich, acrescidas das constantes 10.000 e 500 km.

A superfície potenciométrica foi obtida utilizando-se a relação entre a altitude da cabeça do poço tubular em relação ao nível da água subterrânea (nível estático), representando o peso da coluna de águas sobre o datum horizontal considerado, traçando-se perpendicularmente a superfície potenciométrica a direção das linhas de fluxo subterrâneo.

Com uso do Programa SURFER foram simuladas informações de 25 poços, os quais apresentavam informações completas em relação aos parâmetros avaliados, resultando-se cartogramas, onde através do método da *Krigagem*, obtém-se linhas de isovalores para cada um dos parâmetros simulados baseado em dados pré-existentes. Obtendo-se através da espacialização das informações georeferenciadas (SIG), cartogramas ilustrativos do parâmetro simulado, nesta pesquisa serão apresentadas; a superfície potenciométrica, o índice de vulnerabilidade e as concentrações do elemento flúor.

Realizou-se um cadastro de informações hidrogeológicas com uso do aplicativo EXCEL 2000, onde foram alimentados os dados hidrodinâmicas dos poços, a localização, com o sistema de informações geográficas (SIG) e o uso do *Global Position System* (GPS), e informações de qualidade físico-química, assim como, os parâmetros hidrodinâmicos, e os respectivos dados do usuário, ilustrados na Figura 2.

Foram feitas as simulações correspondentes a 25 poços tubulares, e para a confecção do cadastro dos poços se utilizou a consulta em bancos de dados de empresas privadas (MAPA Perfurações Ltda. Santa Cruz do Sul), Estatais: Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais/CPRM SIAGAS, Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), Programa de Açudes e Poços (PAP) Secretaria de Obras do Governo do Estado do Rio Grande do Sul e trabalhos acadêmicos (Baccar, 1998) e (Silvério da Silva *et al.*, 2001, 2003) executados em Santa Cruz do Sul, além do cadastro em fase de montagem pela Prefeitura Municipal.

Dados Poços de Santa Cruz do Sul, RS, Brasil													
No.	Siogas	Niv.	Nota	Tipo	Nota	Litologia	Nota	Índice Vulnerabil	Coord.	Coord.	VMP Conc. F. (mg/L)	Altit. (m)	
Poço	Sigla	Est.		Aquifero			Litol.		Este	Norte			
1250 SCZ 1a	865	80,54	0,6	Libre	1,0	Fm Santa Maria	0,5	0,3	6707881	362589	0,30	85	
1251 SCZ 3	866	89,1	0,6	Libre	1,0	Fm Santa Maria	0,5	0,3	6706849	362726	0,70	70	
1252 SCZ 4	867	69,18	0,6	Libre	1,0	Fm Santa Maria	0,5	0,3	6706563	363285	0,50	55	
1253 SCZ 5 ou 9Sc-04- RS	868	65,03	0,6	Libre	1,0	Fm Santa Maria	0,5	0,3	6709746	362191	0,30	75	
1164 SCZ 1	2664	27,2	0,7	Libre	1,0	Fm Rosário do Sul	0,7	0,49	6707904	362508	***	60	
1165 SCZ 2	2665	39,74	0,7	Libre	1,0	Fm Rosário do Sul	0,7	0,49	6708517	362742	0,10	90	
1262 SCZ 6	2666	7,77	0,8	Libre	1,0	Fm Rosário do Sul	0,7	0,49	6712634	360177	1,30	35	
1504 SCZ 8	2667	22,11	0,7	Libre	1,0	Fm Rosário do Sul	0,7	0,55	6713209	361782	1,00	40	
1298 SCZ 7	Vila Armonia	27,73	0,7	Libre	1,0	Oa. Aluviões areias	0,7	0,49	6706011	369529	***	55	
2408 SCZ 15	Linha Sta Cruz	1,55	0,9	Confinado	0,2	Basalto	0,6	0,11	6715143	364728	0,20	220	
G2055 SCZ 12	***	28,34	0,7	Libre	1,0	Fm Santa Maria	0,5	0	6707878	360095	1,10	35	
Pv SC1	PAP	7,79	0,8	Confinado	0,2	Serra geral Vulcânica	0,6	0,086	6715143	364728	0,00	200	
Monte Alverme PMSC 2	PAP	51,14	0,6	Confinado	0,2	Serra geral Vulcânica	0,6	0,072	6718543	364898	0,30	230	
COS SC PMSC3 Cooperati	PAP	2,94	0,7	Confinado	0,2	Serra geral	0,6	0,108	6716034	364115	0,20	200	
Gaúcho Diesel	SCZ 01	32	0,7	Libre	1,0	Quaternário Aluvião + Fm Santa Maria	0,6	0,42	6714643	369323	10,80	50	
51 SCZ 51	23	0,7	Libre	1,0	Formação Santa Maria	0,5	0,35	6706658	362300	1,60	65		
114 SCZ 114	47	0,7	Libre	1,0	Fm Santa Maria Argila	0,5	0,35	6712531	362710	1,43	65		
125 SCZ 125	32	0,7	Libre	1,0	Quaternário Aluvião + Fm Santa	0,6	0,42	6712912	361113	2,28	40		

Figura 2 - Planilha de dados referente aos poços do município Santa Cruz do Sul, RS/Brasil.

RESULTADOS

Com base nas informações pré-existentes, coleta de dados em campo, coleta de informações de mapa geológico foi possível obter-se um total de vinte e dois poços tubulares em relação ao parâmetro profundidade, com uma faixa de variação entre 41 até 180 m.

A vazão total obtida em 15 poços, apresentaram uma variação marcada entre 0,32 até 55,38 m³/h, destes nove fazem parte de rochas sedimentares do Sistema Aquífero Guarani, e apenas três foram perfurados em rochas vulcânicas, fraturadas da Formação Serra Geral, com vazões entre 12,0 até 20 m³/h.

Com as informações pré-existentes dispostos nas planilhas Excel, e necessárias para aplicar a pontuação do Método *GOD* (Foster e Hirata, 1993 e Foster *et al.*, 2003), procedeu-se à simulação de 25 poços tubulares, ilustrados na figuras 3, 4 e 5, referente a superfície potenciométrica, níveis de flúor e índice de vulnerabilidade.

Na Figura 3 indica-se a direção do fluxo subterrâneo aproximada de NE – SO.

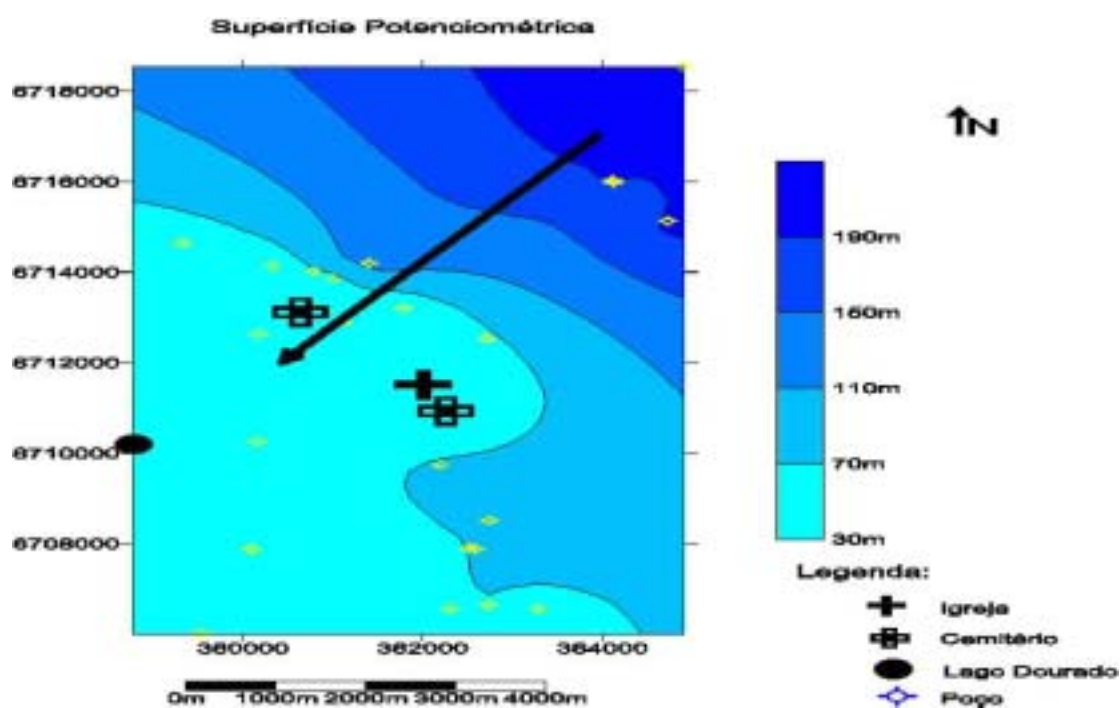


Figura 3 - Ilustração da superfície potenciométrica da área em estudo.

Indicando uma contribuição dos aquíferos para manutenção do leito superficial do rio Pardinho (este rio encontra-se a Oeste, fora da área representada no cartograma).

Notar que o cemitério localizado na porção central, por exemplo do cartograma, pode estar afetando a qualidade das águas subterrâneas à jusante.

Na Figura 4, ilustra-se as concentrações de flúor em águas subterrâneas de 21 poços que com as respectivas análises físico-químicas deste elemento, possibilitaram indicar que dos 11 poços, que apresentaram concentrações menores ou iguais a 0,9 mg/L de flúor, ou seja 52% do total avaliado, encontram-se na faixa considerada ótima pela Portaria nº10/99 do Estado do Rio Grande do Sul, para consumo humano. Notar que esta classe ocupa a maior área do cartograma.

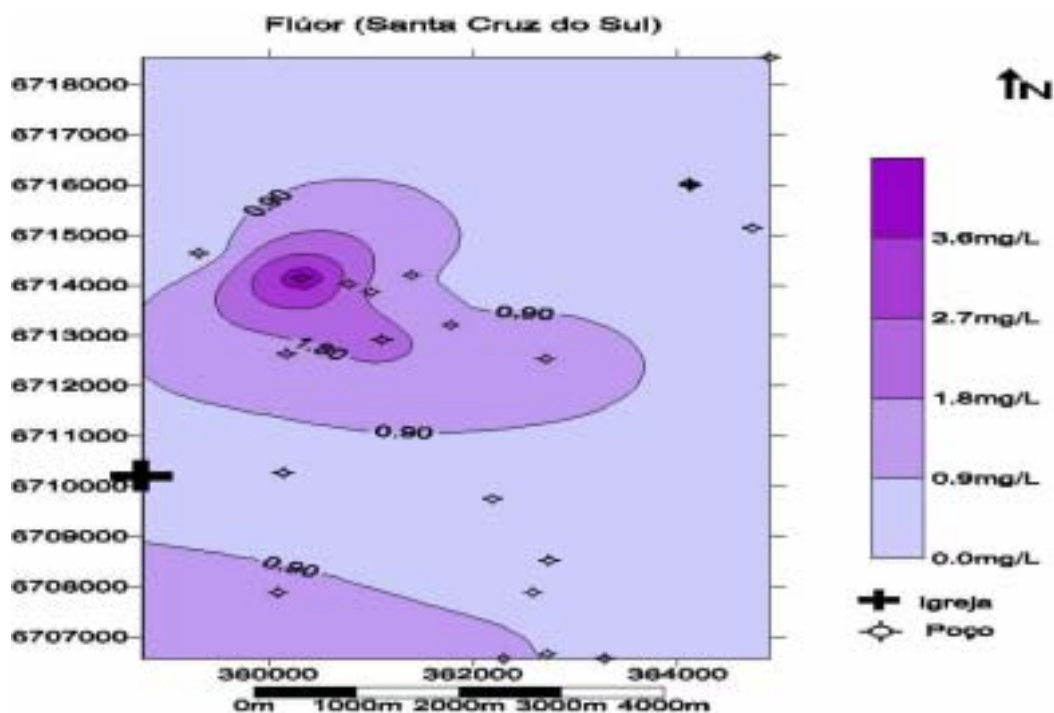


Figura 4 - Concentrações de flúor. Fonte: Baccar (1998), Silvério da Silva (2002) e CORSAN.

Por outro lado 10 poços, apresentaram concentrações superiores ao valor máximo permissível (VMP), acima de 0,9 mg/L, representando 48% dos poços simulados. Notar que a faixa de variação de flúor situa-se, entre 0,0 mg/L até 3,6 mg/L. Observe que o ponto de concentração máxima 3,6mg/L, encontra-se a Nordeste da igreja catedral ilustrada no cartograma, localiza-se próximo do aeroporto municipal, distando aproximadamente 4 km desta, em terrenos pertencentes à Formação Serra Geral.

Na Figura 5, representa o índice de vulnerabilidade natural dos 25 poços, simulados mediante o programa SURFER.

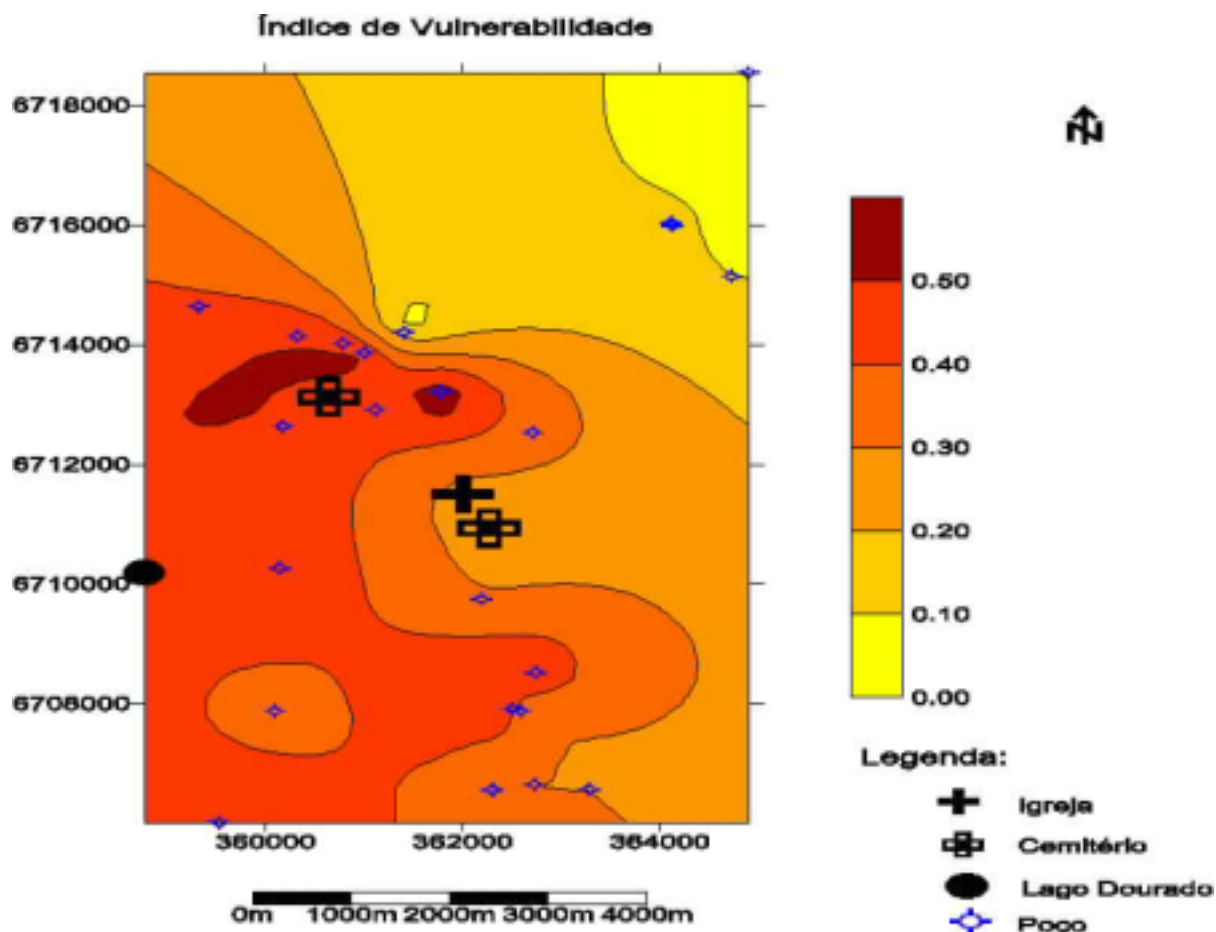


Figura 5 - Índice de Vulnerabilidade de 25 poços Santa Cruz do Sul.

Na classe desprezível entre 0,0 e 0,1, obteve-se 4 poços, ilustrados no Quadro 1, em cores amarelo claro.

Na classe baixa de 0,11 até 0,30, obteve-se 7 poços, ilustrados no cartograma da figura 5, em cores amarelo *queimado* e alaranjado.




Na classe média de 0,31 até 0,50, obteve-se 13, indicando 52% dos poços simulados e representados na figura 5 com cores laranja intenso e vermelho

Na classe Alta entre 0,51 até 0,70, obteve-se apenas um poço. Representada pela cor marrom, localizada na porção central do cartograma da figura 5, próximo de um cemitério.

Notar também, neste cartograma a localização do Lago Dourado, que abastece o município de Santa Cruz do Sul, o qual encontra-se na faixa média de vulnerabilidade portanto merece cuidados especiais, no seu monitoramento de qualidade.

O Quadro 1, corresponde à classificação por nota, dos 25 poços simulados, de acordo com o método *GOD*.

Quadro 1 - Simulação dos 25 poços utilizando o programa SURFER 6.0.

Faixa de variação	Classes	Legenda	Nº. poços
0,00 – 0,10	Desprezível		04
0,11 – 0,30	Baixa		07
0,31 – 0,50	Média		13
0,51 – 0,70	Alta		1
> 0,70	Extrema		0

CONCLUSÕES

Com base nestes resultados pode-se dizer que a região urbana do município de Santa Cruz do Sul, situa-se nas faixas baixa a média vulnerabilidade, necessitando nos planos de ocupação e expansão dos solos municipais, levar-se em consideração, todos os tipos possíveis de obras que utilizem o subsolo para disposição de resíduos, pois estes poderão afetar a qualidade das águas subterrâneas nesta região, utilizadas para diversos fins. Sugere-se que o melhor local em termos de disposição de resíduos perigosos (lixões, aterros sanitários, resíduos hospitalares e inclusive esgotos *in natura*) sejam dispostos em rochas sedimentares argilosas, de baixa permeabilidade, pertencentes à Formação Santa Maria (Membro Alemoa), especialmente localizados ao Sul do Município e também a Leste.

Até o presente momento não se tem uma explicação definitiva para as concentrações elevadas de flúor em algumas águas subterrâneas, não devendo provir de uma fonte única, merecendo estudos mais pormenorizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABRIL CULTURA, O MUNDO EM QUE VIVEMOS, **O manto de ar**, Publicação semanal ilustrada. Copyright Mundial Time- Life International. (Nederland). B. V. Traduzido para o português. Nº 5, p. 81-95.
- [2] ANDREIS, R. R.; BOSSI, G. E. e MONTARDO, D. K. O Grupo Rosário do Sul (Triássico) no Rio Grande do Sul, Brasil. In: Congresso Brasileiro de Geologia, XXXI, Camboriú, Santa Catarina, 1980, Anais, vol. 2, p. 659-671.
- [3] ARAÚJO, L. M.; FRANÇA, A. B. e POTTER, P. E. **Aqüífero 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, Set/1995, 16 p., 8 mapas.

- [4] _____. **Hydrogeology of the Mercosul aquifer system in the Paraná and Chaco-Paraná Basins, South America, and comparison with the Navajo-Nugget aquifer system, USA.** (1999). 7:317-336.
- [5] AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS/ANA, < <http://www.ana.gov.br/html>>, visitado em 2003.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS/ABAS, <http://www.abas.org.br/html>>, WREGG, M. **Conceitos.** Acesso em Jun/2002.
- [7] BACCAR, N. De M. **Estudo da Qualidade da água de poços artesianos da região do Vale do Rio Pardo, RS, Brasil, com destaque para a concentração de fluoretos.** Santa Cruz do Sul. RS. Dissertação de Mestrado Universidade de Santa Cruz do Sul/ UNISC. p.130, 1998.
- [8] CAMPOS, H. C. N. S. **Modelación conceptual y matemática del acuífero guaraní, cono sur. mapa hidrogeológico do aquífero guarani.** escala 1:2.500.000. Estudos Tecnológicos – *Acta Geológica Leopoldensia.* Série Mapas, XXIII/4, UNISINOS, p.50, 2000.
- [9] **Carta Topográfica de Santa Cruz do Sul,** Diretoria do Serviço Geográfico do Exército, DSG, Escala 1:50.000. SH22-H-4. 1966.
- [10] COMPANHIA DE PESQUISAS E RECURSOS MINERAIS/CPRM/SIAGAS/SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/html>>. Acesso 2004/abril, 2004.
- [11] _____ CPRM, **Mapa Geológico da Folha de Santa Cruz do Sul,** escala 1: 100.000, Projeto Borda Leste da Bacia do Paraná. Folha MI- 2968, e de Candelária, MI-2967, 1986.
- [12] CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS/CNRH/Resoluções Nº 9 (11/06/2000) e Nº 15 de (11/01/2001): Disponível em: <http://www.ana.gov.br/resoluções/html>. Acesso em Dez/2003.
- [13] Correio da UNESCO. Água doce: a que preço?. **O mundo da sede.** Abril de 1999, p.21-36
- [14] DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL/DNPM - **Mapa Hidrogeológico do Brasil (1983),** Escala de 1: 5.000.000.
- [15] FOSTER, S; HIRATA R.A.C; GÓMEZ D., D'ELIA, M. e PARIS, M. **Protección de la Calidad del Agua Subterránea.** Mundi Prensa. 2003. (Banco Mundial), p.115.
- [16] GREGORASCHUK, J.D.L. Disponível em: <<http://www.sg-guarani.org/html>>. Acesso janeiro 2001 e março, 2004.
- [17] HAUSMAN, A. **Comportamento do Freático nas áreas Basálticas do Rio Grande do Sul.** Boletim Paranaense de Geografia. n. 18 a 20, Out. 1966. p. 177-214.
- [18] _____ **Província Hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul – RS.** *Acta geologica leopoldensia.* Série Mapas, Nº 2, UNISINOS, 1995. p.1-127.

- [19] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA/IBGE: Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/população/html>. Acesso em Mar/2004.
- [20] Lei Federal Nº 9.433/97, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/CONAMA/>. Acesso em 2003.
- [21] NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989. 422 p.
- [22] Portaria 10/99 da Secretaria da Saúde do Estado do Rio Grande do Sul, 1999.
- [23] Portaria federal Nº 1469/2000, **Controle e Vigilância da Qualidade da água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade**. Ministério da Saúde. FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. Brasília, 2001. p.32, Outubro de 2001.
- [24] RADAMBRASIL/FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **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**. Rio de Janeiro: IBGE, 1986. 796 p. 6 mapas,; il. (Levantamento de recursos naturais; v. 33).
- [25] ROCHA, J. S. M. **Educação ambiental técnica para os ensinos fundamental, médio e superior**. Primavera. 2000, p.516.
- [26] SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL/ SEMA Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br/>>. Acesso em 2003.
- [27] SECRETARIA GENERALRAL PROYECTO PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE DEL SISTEMA ACUÍFERO GUARANÍ <<http://www.sg-guarani.org>>, visitada em 2001(experimental) e em 2004.
- [28] SILVÉRIO DA SILVA, J. L. **Estudo dos Processos de Silicificação e Calcificação em Rochas Sedimentares Mesozóicas do Rio Grande do Sul, Brasil**. Tese de doutorado em Geociências. UFRGS, 1997. 156 p.
- [29] SILVÉRIO DA SILVA, J.L. e GARCIA, A. J. V. **Avaliação Petrológica Preliminar de Arenito das Formações Mata e Santa Maria (Membro Passo das Tropas), na região de Santa Maria – RS**. *Acta Geologica Leopoldensia*. Ano XVI, Nº 38, UNISINOS, p.199-223, 1993.
- [30] SILVÉRIO DA SILVA, J.L.; PAVÃO, A. D. M.; BERRO, S. V. CRUZ, R. C. E WANDSCHEER, E.A.R. Avaliação da Vulnerabilidade dos Recursos Hídricos Subterrâneos da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria, RS. In: **XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Curitiba-PR, 23 a 27 Nov 2003. CD-ROM.
- [31] SILVÉRIO DA SILVA, J.L; HIRATA, R. A C.; FLORES, E. L. M; DRESSLER, V. L. In: **XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**. Florianópolis, 10 a 13 de setembro de 2002. ABAS. CD-ROM.
- [32] UNESCO, Correio da, **Água doce a que preço?** Abril de 1999, p.21.