

## **ANÁLISE DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS DO MUNICÍPIO DE SANTIAGO-RS, COMO FERRAMENTA DE GESTÃO**

*Lueni Gonçalves Terra<sup>1\*</sup> & Carlos Alberto Löbler<sup>2</sup> & José Luiz Silvério da Silva<sup>3</sup> & Tiago Ertel<sup>4</sup>*

**Resumo** – As últimas décadas têm sido marcadas pela preocupação da sociedade com a crescente deterioração dos recursos hídricos. Diante deste cenário, o mapeamento de vulnerabilidade do aquífero tem se apresentado como uma ferramenta eficiente para a gestão desses recursos, avaliando a possibilidade do aquífero à contaminação. Nesse sentido define-se como objetivo principal do presente trabalho: mapear a vulnerabilidade das águas subterrâneas no município de Santiago-Rio Grande do Sul, sul do Brasil, situado na borda da Bacia do Paraná, utilizando o método *GOD*, adaptado para as condições brasileiras. E ainda espacializar os valores de Condutividade Elétrica/C.E. e Sólidos Totais Dissolvidos/STD. Para tanto se elaborou um banco de dados hidrogeológicos de captações que continham informações necessárias à elaboração dos cartogramas. Os produtos finais são o cartograma da vulnerabilidade do aquífero à contaminação, o qual indicou cerca de 76% das captações na classe de vulnerabilidade insignificante. E ainda a espacialização das variações nas concentrações de C.E. e STD, que mostrou baixos valores de salinidade. Essas espacializações visam contribuir para políticas públicas de prevenção, controle e restrições do uso e ocupação do solo local e na proteção deste recurso.

**Palavras-Chave** – vulnerabilidade, *GOD*, aquífero.

## **ANALYSIS OF UNDERGROUND WATER RESOURCES OF THE CITY OF SANTIAGO-RS, AS MANAGEMENT TOOL**

**Abstract** – The last few decades have been marked by society's concern with the increasing deterioration of hydric resources. In this scenario, the aquifer vulnerability mapping has emerged as an effective tool for the management of these resources, pointing out the risk of contamination of the aquifer. Accordingly defined as main objective of this paper is: mapping the vulnerability of groundwater pollution in the municipality of Santiago, Rio Grande do Sul state, Southern Brazil, situated on the edge of the Paraná Basin, using the *GOD* method, adapted to brazilian conditions. Were used spatialization in thematic maps, data like electrical conductivity and Total dissolved solids/TDS. For that was developed a hydrogeological database captures that contained information necessary for producing cartograms. The final products are cartogram of the vulnerability of the region under study, which showed approximately 76% vulnerability class insignificant. And the spatial variations of the electrical conductivity, and obtain the values of TDS, which showed low levels of salinity. These specializations were prepared to contribute to public policies of prevention, control and restriction of the use and occupation of the local soil and to Groundwater protection.

**Keywords** – vulnerability, *GOD*, aquifer

<sup>1</sup> \*Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria; luehnittera@hotmail.com

<sup>2</sup> Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Maria; carloslobler@gmail.com

<sup>3</sup> Professor do Departamento de Geociências da Universidade Federal de Santa Maria, silverioufsm@gmail.com

<sup>4</sup> Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria; tiagoertel@hotmail.com

## INTRODUÇÃO

A água, componente chave do ciclo hidrológico e elemento indispensável para a qualidade de vida, desenvolvimento do ser humano, representa um recurso, no momento em que, de alguma forma, serve à humanidade através de seus variados usos. O controle da gestão racional e sustentável desses recursos hídricos vem sendo paulatinamente inserida nas normatizações, que visa também à saúde das populações.

Shiklomanov (1998) aponta que as águas subterrâneas são aproximadamente 100 vezes mais abundantes que as águas superficiais dos rios e lagos. Esses dados nos mostram a importância das águas subterrâneas como reservas de água doce, logo, também indicam na necessidade de seu monitoramento e proteção.

Para Foster *et al.* (2006), “o mapeamento da vulnerabilidade do aquífero à contaminação normalmente é o primeiro passo na avaliação do perigo de contaminação da água subterrânea e na proteção de sua qualidade, em escala municipal ou estadual”. Os aquíferos contaminados possuem altos custos para serem recuperados ou mesmo não possuem métodos eficientes de recuperação, e devido a essa situação, prevenir a contaminação é melhor do que remediá-la.

A inexistência de estudos científicos e publicações técnicas de caracterização do meio físico, o incentivo ao adensamento, a existência de áreas contaminadas impactadas que estão sendo ocupadas por empreendimentos habitacionais e comerciais justificam a análise da vulnerabilidade natural à contaminação dos recursos hídricos subterrâneos como uma ferramenta importante para o planejamento urbano e ambiental do local. Estes estudos visam à proteção das águas subterrâneas e da saúde humana. Brollo *et al.* (2000), destacam que a avaliação da vulnerabilidade de aquíferos a contaminação constitui-se em um dos aspectos de maior importância para subsidiar o planejamento de uso do solo, bem como para gerenciar a instalação e o funcionamento de empreendimentos potencialmente impactantes aos recursos hídricos subterrâneos.

Nesse sentido e diante da carência de estudos de susceptibilidade dos recursos hídricos subterrâneos no município gaúcho de Santiago, buscou-se conhecer um pouco mais desse recurso que é tão importante para o abastecimento humano tanto urbano quanto rural. O presente trabalho tem como objetivo espacializar a vulnerabilidade natural dos recursos hídricos e também as concentrações de C.E. dessas águas. E a partir dos dados de condutividade elétrica, obter as concentrações de STD das águas e então, realizando uma discussão acerca dos resultados.

De acordo com Fenzel (1986), a condutividade elétrica é o valor recíproco da resistividade elétrica. É a capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica. Esse parâmetro está relacionado com a presença de íons dissolvidos na água, que são partículas carregadas eletricamente. O Ministério da Saúde aponta que “enquanto as águas naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a 100  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar até 1.000  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ”.

Segundo a Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM, 1994) na maioria das águas subterrâneas naturais, os índices de condutividade elétrica multiplicado por um fator que varia entre 0,55 e 0,75, geram uma boa estimativa das concentrações de STD. A Resolução CONAMA nº357/2005 estabelece o valor de 0,5 partes por mil ou sejam, 500  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de sais, como padrão de qualidade das águas doces. Já Portaria 2.914/2011, do Ministério da Saúde, estabelece como padrão de potabilidade o VMP de 1.000  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ .

A cidade de Santiago localiza-se sob as coordenadas geográficas 29°11' latitude sul e a 54°52' longitude oeste de Greenwich, na porção noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, como pode ser observado na figura 1. Situada aproximadamente a 450 km da capital, Porto Alegre. De acordo com o censo de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a população do Município era de 49.082 habitantes.

O município pertence à mesorregião Centro Ocidental Rio-Grandense e à microrregião de Santiago. Localiza-se, de acordo com a SEMA (2005), em partes de duas bacias hidrográficas: a Bacia do Rio Ibicuí (U-50), e a do Butuí/Piratinim/Icamaquã (U-40). Informa-se que U é indicativo de Rio Uruguai.

No que tange aos sistemas aquíferos, Santiago está, segundo o Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul de Machado e Freitas (2005), parte no Sistema Aquífero Serra Geral II (sg II) também denominado de SASG. E ainda uma parte, no Sistema Aquífero Basalto/Botucatu (bb) na Zona de Confinamento (ZC) e Zona de Afloramentos (ZA) do Sistema Aquífero Guarani constituído de uma sequência de rochas sedimentares (OEA/PEA/2009). Segundo Machado e Freitas no Sistema Aquífero Serra Geral II as salinidades apresentam valores, na maioria das vezes, inferiores a 250 mg.L<sup>-1</sup>. Valores maiores podem ser encontrados em áreas com influência de descargas ascendentes do Sistema Aquífero Guarani.

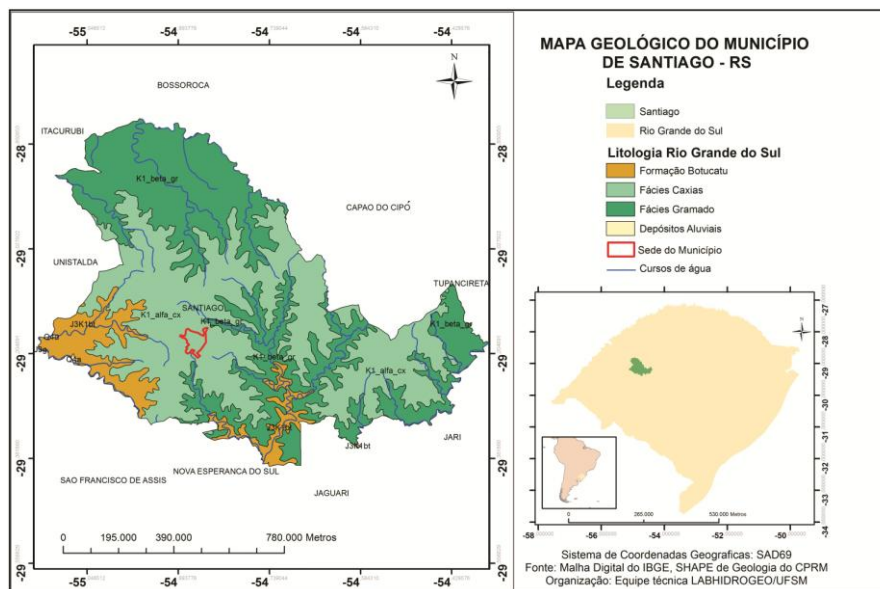


Figura 1. Mapa Geológico do Município de Santiago-RS. Fonte CPRM (2008).

## METODOLOGIA

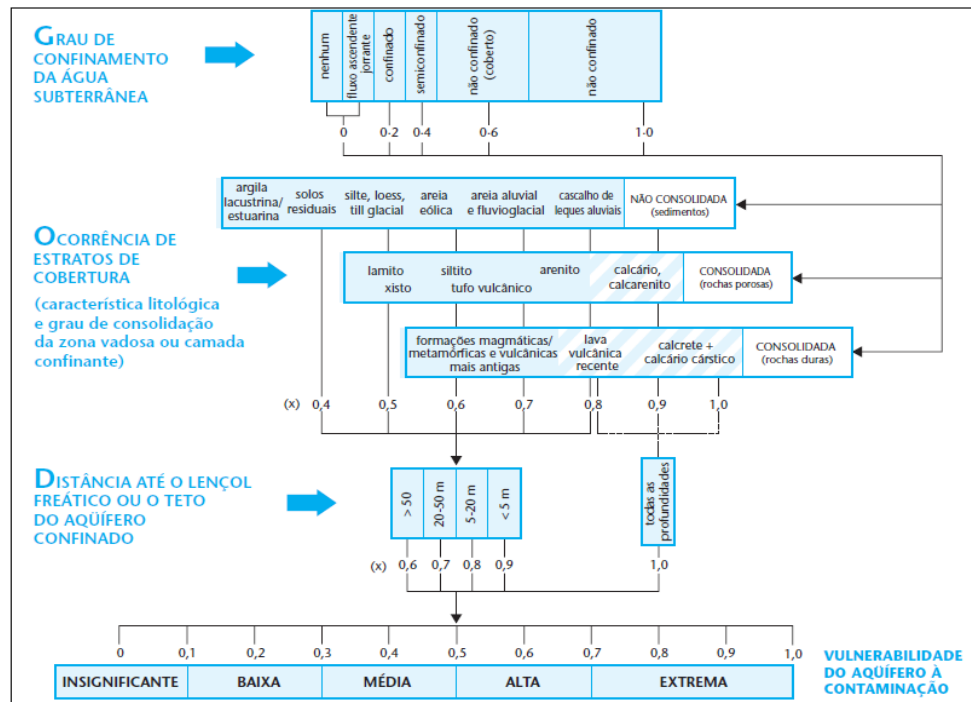
Primeiramente, realizou-se a organização de um banco de dados de captações cadastradas no município (buscados no sítio da *web* do CPRM, Sistema de Informações de Águas Subterrâneas-SIAGAS). Dos 85 poços cadastrados, 50 foram selecionados para a pesquisa, por conterem informações necessárias a realização do trabalho. 29 poços foram utilizados para análise através do método GOD de Foster *et al.* (2006), os quais apresentavam dados completos em relação aos parâmetros avaliados e necessários a execução do método. Este caracteriza a vulnerabilidade do aquífero à contaminação o qual consiste na hierarquização de índices relativos à maior ou menor sensibilidade à poluição da zona não saturada (zona vadosa ou de aeração).

1. Tipo de ocorrência da água subterrânea (**G**), onde os valores são obtidos em um intervalo variável de 0 a 1. Busca-se identificar a condições do meio livre, confinado, semi confinado.

2. Classificação dos estratos acima da zona saturada do aquífero, em termos do grau de consolidação e depende do(s) tipo(s) de litologia(s) penetradas pela captação (**O**). Esse parâmetro é variável numa faixa de variação em um intervalo de 0,3 a 1,0.

3. Determinação da profundidade do nível da água (**D**), que definirá o terceiro parâmetro, no intervalo de 0,4 a 1,0. Quanto mais profundo o nível da água, menor a nota atribuída ao parâmetro, estimando-se que será menor a dificuldade oferecida à contaminação do meio aquífero.

Como pode ser observado na figura 2, o índice de vulnerabilidade pode ser considerado em classes padronizadas por Foster *et al.* (2006): insignificante (0 a 0,1), baixa (0,1 a 0,3), média (0,3 a 0,5), alta (0,5 a 0,7) e extrema (0,7 a 1,0).



**Figura 2.** Sistema GOD para avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação. Fonte: Foster *et al.*(2006).

Ao ocorrer mais de um estrato litológico no perfil geológico penetrado por determinada captação, estimou-se o percentual relativo a cada formação geológica. Depois disso, as classes são obtidas pelo produto entre os três níveis de parâmetros avaliados em cada poço considerado.

Depois disso, para a confecção de cartograma de condutividade elétrica foram utilizadas as informações de 50 captações. Com a utilização dos programas *Surfer 8.0* e *ArcGIS 9.2* obteve-se os produtos finais, espacializados em forma de cartogramas no Sistema de Coordenadas Universal Transversa de Mercator/UTM. Tornando então, possível o conhecimento das áreas de mais e menos sensíveis à contaminação e às áreas com maiores índices de condutividade elétrica. A medida de Condutividade elétrica, multiplicada por um fator que varia entre 0,55 e 0,75, fornece uma boa estimativa do teor de sólidos dissolvidos de uma água subterrânea. A partir disso os dados de condutividade elétrica foram multiplicados pelo fator 0,65 e organizados em forma de tabela.

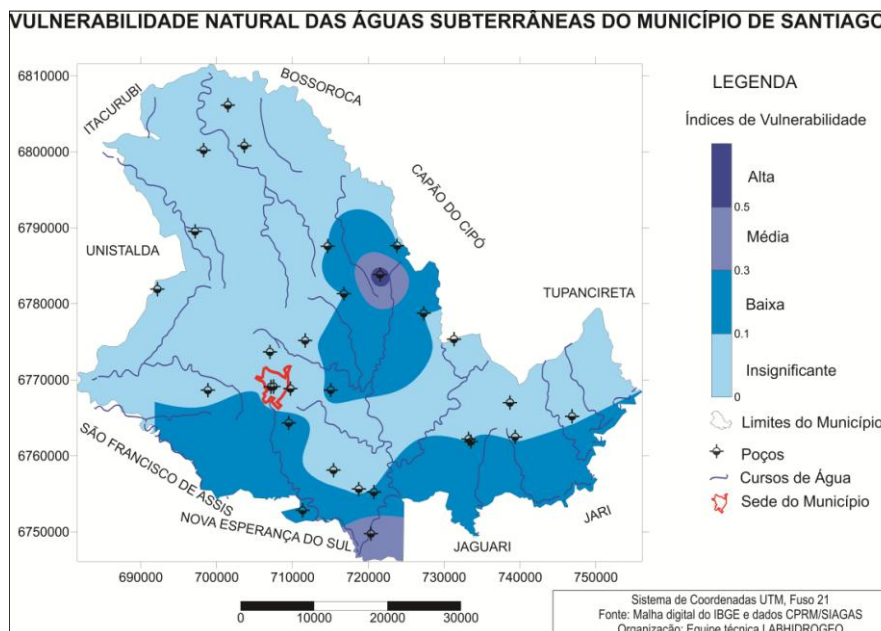
Selecionou-se o interpolador matemático krigagem para realizar a integração dos resultados. Ribeiro (2012) considera krigagem um método de estimativa geoestatística que se inclui entre as técnicas de estimação que minimizam o erro na variância, apresentando vantagens sobre outros interpoladores.

O cartograma de condutividade elétrica foi dividido em duas classes, conforme o total de Sólidos Totais Dissolvidos. A primeira representa os valores de condutividade multiplicados pelo fator 0,65 chega-se a no máximo 250 mg.L<sup>-1</sup> e a outra classe representa os índices maiores que 250

mg.L<sup>-1</sup>. Definiu-se essas classes para verificação da relação de salinidade com o Sistema Aquífero Serra Geral II, uma vez que estes estão caracterizados como mais comuns no SASG Machado e Freitas (2005).

## RESULTADOS

Observando o cartograma de espacialização da vulnerabilidade natural (figura 3) das águas subterrâneas do Município de Santiago, percebe-se em azul de tom claro, que a classe predominante na área avaliada foi à insignificante, que apontou 22 poços, totalizando aproximadamente 76% do total avaliado. Seguida da vulnerabilidade baixa em 17% dos poços (em azul escuro), e da média, representada em roxo claro, em 3,5% das captações, Também se estimou que 3,5% dos poços avaliados apresentaram índice de vulnerabilidade alta (roxo escuro). Conforme pode ser constatado a área urbana de Santiago possui vulnerabilidade intrínseca na classe insignificante.

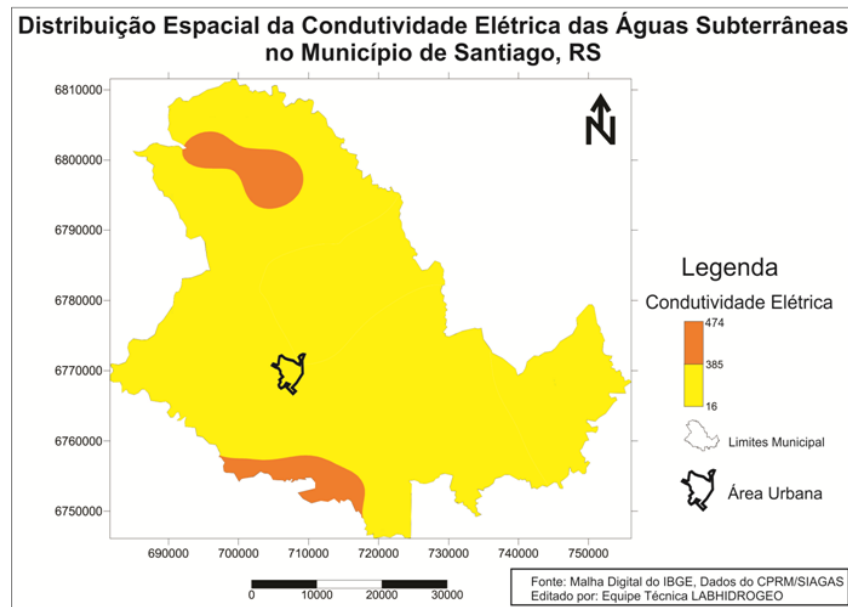


**Figura 3.** Cartograma da espacialização da vulnerabilidade das águas subterrâneas do Município de Santiago-RS.

Já a espacialização dos valores de condutividade elétrica (figura 4) mostra valores baixos, variando de 16  $\mu\text{S.cm}^{-1}$  até 474  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ . Uma vez que esta representa indiretamente a salinidade das águas das captações por poços na faixa entre 16 e 385  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ , que transformadas mostram concentrações de Sólidos Totais Dissolvidos inferiores a 250 mg.L<sup>-1</sup> (classe representada em amarelo, no cartograma), característica do Sistema Aquífero Serra Geral II (Machado e Freitas, 2005), caracterizado por derrames basálticos intercalados com arenitos da Formação Botucatu. Em marrom pode-se perceber valores entre 385 e 474  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ , que multiplicados por 0,65 fornecem concentrações de salinidade maiores do que 250 mg.L<sup>-1</sup>.

Com isso, verifica-se que a maior representatividade de salinidade encontra-se até os 250 mg.L<sup>-1</sup> ou C.E.=385  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ , correspondente a proporção litológica Fácies Caxias e Fácies Gramado, que juntas compõem o Sistema Aquífero Serra Geral II, corroborando Machado e Freitas (2005).

Esses números também nos mostram que as águas subterrâneas, em estudo, estão no que diz respeito as concentrações de STD, enquadradas, em maioria, como águas doces Resolução CONAMA N°357/2005.



**Figura 4.** Espacialização da C.E das águas subterrâneas do Município de Santiago-RS.

Os valores de C.E. multiplicados por 0,65 permitiram expressar as concentrações em STD ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), tabela 1. Em análise percebe-se que os índices de STD mantiveram-se abaixo do VMP para consumo humano, estabelecido em  $1.000 \text{ mg.L}^{-1}$  pelo Ministério da Saúde. Fator importante já que a maioria das captações de águas subterrâneas são de uso doméstico.

Tabela 1- Valores de C.E. e STD, usos da água subterrânea de poços do Município de Santiago/RS.

Coord. UTM E	Coord. UTM N	Uso da água	Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ )	Sólidos Dissolvidos Total ( $\text{mg.L}^{-1}$ )
709666	6780392	Doméstico	16,00	10,4
714586	6787477		83,10	127,8
731447	6775168	Doméstico	180,18	117,2
735800	6758075	Doméstico	250,00	54,01
707352	6768908	Doméstico	341,00	221,6
705751	6769694	Doméstico	190,00	123,5
706184	6768740	Doméstico	258,00	167,7
709387	6764104	Doméstico	170,00	110,5
715345	6757872	Doméstico	135,00	87,7
711489	6752046	Doméstico	299,00	194,3
713651	6753660	Doméstico	397,00	258
718738	6755354	Doméstico	192,00	124,8
718265	6749249	Doméstico	211,00	137,1
720463	6747275	Doméstico	231,00	154,8

continua

Coord. UTM E	Coord. UTM N	Uso da água	Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	Sólidos Dissolvidos Total ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )
720386	6749457	Doméstico	138,50	90,0
701087	6756395	Doméstico	238,00	154,7
706998	6768879	Doméstico	79,30	51,5
714862	6778179	Doméstico	66,60	43,3
719714	6773839	Doméstico	235,00	152,7
743424	6760142	Doméstico	100,00	65,0
745787	6768827	Doméstico	68,50	44,5
730724	6757597	Doméstico	136,00	88,4
726600	6754919	Doméstico	280,00	182,0
702744	6778978	Doméstico	185,00	120,2
699811	6780307	Doméstico	112,00	72,8
714119	6784576	Doméstico	60,00	39,0
714313	6787918	Doméstico	157,00	78,5
703446	6800746	Doméstico	330,00	214,5
701245	6806119	Doméstico	72,00	46,8
698786	6796678	Doméstico	200,00	130,0
702489	6786267	Doméstico	169,00	109,8
698008	6800167	Doméstico	349,00	226,8
708862	6769958	Doméstico	277,00	180,0
709209	6771767	Outros	105,00	68,2
708260	6769938	Doméstico	200,00	130,0
707508	6768266	Ab. múltiplo	223,00	144,9
701600	6765707	Doméstico	123,00	79,9
709246	6770648	Ab. múltiplo	163,00	105,95
707164	6768555	Ab. múltiplo	293,00	190,4
706456	6771045	Ab. múltiplo	192,00	115,2
707846	6771876	Ab. múltiplo	172,00	111,8
708204	6768864	Ab. múltiplo	180,00	117,0
703054	6772235	Ab. múltiplo	261,00	169,6
697093	6802373	Doméstico	365,00	237,2
703265	6797970	Doméstico	474,00	308,1
690511	6777764	Doméstico	285,00	185,2
699998	6784803	Doméstico	249,00	161,8
715480	6767889	Doméstico	193,00	125,4
711091	6767862	Doméstico	216,00	140,4
705300	6767246	Ab. múltiplo	163,00	105,9

continuação

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nesses resultados pode-se dizer que o Município de Santiago possui a maioria das captações de águas subterrâneas localizadas em áreas de vulnerabilidade insignificante ou baixa.

Mesmo este resultado deve ser considerado no uso e ocupação do solo, principalmente na implantação do plano diretor municipal. Ainda é necessário ter parcimônia com o licenciamento de todos os tipos possíveis de obras que utilizem o subsolo para disposição de resíduos e sua carga contaminante considerando as ocorrências de aquíferos livres e/ou confinados SASG e/ou SAG. O mapa de vulnerabilidade de aquíferos poderá ser utilizado como uma ferramenta de apoio na gestão dos aquíferos.

Através da espacialização dos dados de condutividade elétrica e STD verificou-se que apesar dos índices estarem na faixa recomendada para uso consuntivo pelo Ministério da Saúde são necessárias políticas públicas voltadas ao monitoramento dos recursos hídricos subterrâneos, que em geral, são utilizados para abastecimento domiciliar.

É importante ressaltar que este é um primeiro ensaio desta temática no Município de Santiago. Sugere-se a aplicação de outros métodos de obtenção da vulnerabilidade de aquíferos visando à comparação de seus resultados além da atualização contínua do cadastro de captações no Município, conforme previsto na Legislação Estadual.

### AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- CAPES e ao PPGE/UFSC.

### REFERÊNCIAS

BROLLO, J. M.; VEDOVELLO, R.; ODA, G. H. (2000). *Avaliação da Vulnerabilidade natural de aquíferos à contaminação através de um sistema gerenciador de informações geoambientais* – Um instrumento de gestão ambiental. In: *Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*. São Paulo.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS, CPRM. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br>>. Acesso em: 20 fev. 2012.

FENZEL, N. (1986). *Introdução a hidrogeoquímica*. Belém: UFP.

FOSTER, S. HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELISA, M. (2006). *Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais*. São Paulo: Servemar.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 16 jan. 2013.

OEA/PEA/PSAG- Programa Estratégico da Ação. 2009. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/ana>>. Acesso em: 16 jan. 2013.

RIBEIRO, L. (2012). Curso: Métodos Geoestadísticos em Hidrologia Subterrânea. Aplicaciones Prácticas em SURFER™. Cartagena, p.78.

SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Disponível em <<http://www.sema.rs.gov.br>>. Acesso em: 16 jan. 2013.

SHIKLOMANOV, I. A. (1998). *World Water Resources - A New Appraisal and Assessment for the 21st Century*. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization - UNESCO.