



**Avaliação da Vulnerabilidade Intrínseca à Contaminação do
Aquífero na Bacia do Rio Passo Fundo no Estado do Rio Grande do Sul**
Assessment of the Intrinsic Vulnerability to Contamination
of the Aquifer in River Basin Passo Fundo of Rio Grande do Sul

Willian Fernando de Borba; Gabriel D'Ávila Fernandes;
Lueni Gonçalves Terra; Carlos Alberto Löbler & José Luiz Silvério da Silva

¹ Universidade Federal de Santa Maria,
Avenida Roraima, 1000, prédio 17, sala 1605, Bairro Camobi, 97105-970 Santa Maria - RS - Brasil
E-mails: borbawf@gmail.com; enggabrielfernandes@gmail.com;
lueniterra@gmail.com; carloslobler@gmail.com; silverioufsm@gmail.com
Recebido em: 30/10/2015 Aprovado em: 29/04/2016
DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2016_2_145_154

Resumo

A progressiva poluição das reservas hídricas superficiais gera, cada vez mais, a exploração dos recursos hídricos subterrâneos. Com base nisso, cresce a importância de estudos que visem contribuir para a análise qualitativa e/ou quantitativa desses importantes mananciais. O presente trabalho tem por objetivo determinar a vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação na bacia hidrográfica do Rio Passo Fundo, através da aplicação do sistema GOD. Foram utilizadas informações de 439 poços cadastrados no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. A bacia em estudo apresentou uma vulnerabilidade insignificante em 73,1 % da sua área total, baixa em 25,6 %, média em 1,3 % e alta em apenas 0,01 %. Diante disso, pode-se concluir que o aquífero apresenta uma significativa proteção natural através das rochas basálticas da Formação Serra Geral, caracterizando, na maioria das vezes, uma condição confinante ao aquífero.

Palavras-chave: Água Subterrânea; Estrutura Geológica; Formação Serra Geral; Sistema GOD

Abstract

The progressive pollution of surface water reserves increasingly generates the exploitation of groundwater resources. Based on this, grows the importance of studies that aim to contribute to the qualitative and/or quantitative analysis of these important sources. The present study aims to determine the natural vulnerability of the aquifer to contamination in the watershed of the Passo Fundo river basin, by applying the GOD system. It has been used information from 439 wells registered on the Groundwater Information System. The river basin under study presents a negligible vulnerability in 73,1 % of its total area, low in 25,6 %, an average of 1,3 % and high in only 0,01 %. Thus, it can be concluded that the aquifer has a significant natural protection through the basaltic rocks of the Serra Geral Formation, featuring, for the most part, a confining condition to the aquifer.

Keywords: Groundwater; Geological Structure; Serra Geral Formation; GOD System

1 Introdução

A água é um recurso natural essencial à vida no planeta, sendo utilizada também, como insumo básico para uma gama de atividades econômicas (Santos *et al.*, 2010). A partir disso, destaca-se a importância de estudos quali-quantitativos que visam determinar possíveis alterações em suas propriedades físicas, químicas ou biológicas.

Com a conseqüente contaminação dos recursos hídricos superficiais, a água subterrânea é vista como uma das soluções mais adequadas para sanar o problema de abastecimento de água. Porém, seu consumo desenfreado e/ou sua má gestão, pode gerar sérios problemas ambientais. Nesse sentido, Ribeiro *et al.* (2011), dizem que a exploração excessiva dos recursos hídricos subterrâneos, a ocupação irregular do solo e a ausência de normas legais põem em risco a qualidade natural das águas subterrâneas. Esse fato justifica a realização de estudos envolvendo a ampliação dos conhecimentos no tema abrangendo os recursos hídricos subterrâneos.

Um dos principais problemas relacionados ao processo de gestão das águas subterrâneas evidencia-se pela falta de informações disponíveis. Uma das principais bases de dados é o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), mantido pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM)/Serviço Geológico do Brasil. O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), através da Moção Nº 38/2006 (CNRH, 2006), indica a adoção do SIAGAS como fonte de informações para órgãos gestores e de pesquisa, visando a melhoria da gestão integrada dos recursos hídricos. Nesse contexto, justifica-se a utilização dessa base de dados para a realização deste estudo.

Com objetivo de apoiar a eficácia dos processos de gerenciamento e gestão dos recursos hídricos subterrâneos, foram desenvolvidas diversas ferramentas. Dentre essas destacam-se os diferentes métodos e sistemas para a determinação da vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação.

Feitosa *et al.* (2008) dizem que se entende por vulnerabilidade a susceptibilidade intrínseca do meio aquífero em ser adversamente afetado por uma carga contaminante antrópica. Maia & Cruz (2011) dizem que todos os aquíferos são vulneráveis em médio ou em longo prazo a contaminantes que apresentam características persistentes e/ou móveis,

gerados por atividades amplamente distribuídas em uma localidade ou região.

Existem vários métodos que determinam a vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação, dentre eles destacam-se o sistema GOD (*Groundwater hydraulic confinement, Overlaying strata, Depth to groundwater table*), descrito por Foster *et al.* (2002; 2006) e o método DRASTIC (*Depth to the water, Net Recharge, Aquifer material, Soil Type, Topography, Impact of the unsaturated zone, Hydraulic Conductivity*), descrito por Aller *et al.* (1987). O sistema GOD (Foster *et al.*, 2002; 2006) é um dos mais utilizados para esse fim, para as condições brasileiras, principalmente por demandar uma menor gama de parâmetros, além de apresentar bons resultados para as condições brasileiras e caribenhas (Foster *et al.*, 2002; 2006).

Com base no exposto, o presente estudo tem por objetivo determinar a vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação, em uma bacia hidrográfica localizada na região norte do estado do Rio Grande do Sul, de característica tipicamente rural, com cultivos anuais de milho, soja e trigo. Para isso, foi utilizado o sistema GOD (Foster *et al.*, 2002; 2006). Também determinou-se a tendência de direção de direção de fluxo da água subterrânea na área, através da estimativa da superfície potenciométrica.

2 Metodologia

2.1 Caracterização da Área em Estudo

Segundo a Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA, 2004), a Bacia Hidrográfica Passo Fundo (BHRPF) – U20, parte integrante da Região Hidrográfica do Uruguai (U) situa-se ao norte do estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 27°04' a 28°19' de latitude Sul e 52°13' a 52°51' de longitude Oeste. Abrange a Província Geomorfológica Planalto Meridional, com área de 4.852,15 km², e 30 municípios (FEPAM, 2015). Os principais cursos de água são o Arroio Timbó e o Rio Passo Fundo. Em relação aos usos da água, destaca-se a dessedentação animal, irrigação de culturas agrícolas como a soja e o milho, uso industrial e abastecimento humano (FEPAM, 2015). A Figura 1 ilustra os municípios que compõem a BHRPF.

A área de estudo apresenta uma baixa densidade demográfica, destacando-se como os mais populosos, os municípios de Passo Fundo, com uma

população de 195.620 e densidade demográfica de 235,92 hab/km² e Erechim com 101.156 habitantes e uma densidade demográfica de 223,11 hab/km² (IBGE, 2010). Em Passo Fundo, maior município em extensão da Bacia, destaca-se como as principais atividades potencialmente poluidoras: frigoríficos, laticínios, produção de biodiesel, além de postos de combustíveis.

As formações geológicas aflorantes na área de estudo, podem ser analisadas na Figura 2. Tem-se na BHRPF as Formações Serra Geral (Fácies Chapecó e Paranapanema) e Tupanciretã (CPRM, 2007), com as seguintes características, descritas pela CPRM (2007):

Formação Serra Geral: Fácies Paranapanema: Derrames basálticos, com teores de SiO₂ entre 45 – 52 %, granulares finos, melanocráticos, contendo horizontes vesiculares, espessos preenchidos com quartzo (ametista), zeólitas, carbonatos, seladonita e barita. - Fácies Chapecó: Derrames

ácidos, variando entre riodacitos e riolitos, matriz vitrofírica, contendo pórfiros.

Formação Tupanciretã: Arenito fino, quartzoso, paraconglomerado e arenito conglomerático, ambiente continental. Apresenta boa relação porosidade/permeabilidade e logo, maior susceptibilidade a contaminação. Porém, representa uma pequena parcela da área de estudo.

No que refere-se à hidrogeologia, a área de estudo apresenta os Sistemas Aquíferos Serra Geral (SASG) I e II, descritos por Machado & Freitas (2005), com as seguintes características:

Sistema Aquífero Serra Geral I (sg1): Delimita-se pelos municípios de Soledade, Tupanciretã, Santo Antônio das Missões, Santa Rosa, Tenente Portela, Nonoai, Erechim e Passo Fundo, constitui-se principalmente de litologias basálticas, amigdalóides e fraturadas, capeadas por espesso solo avermelhado.

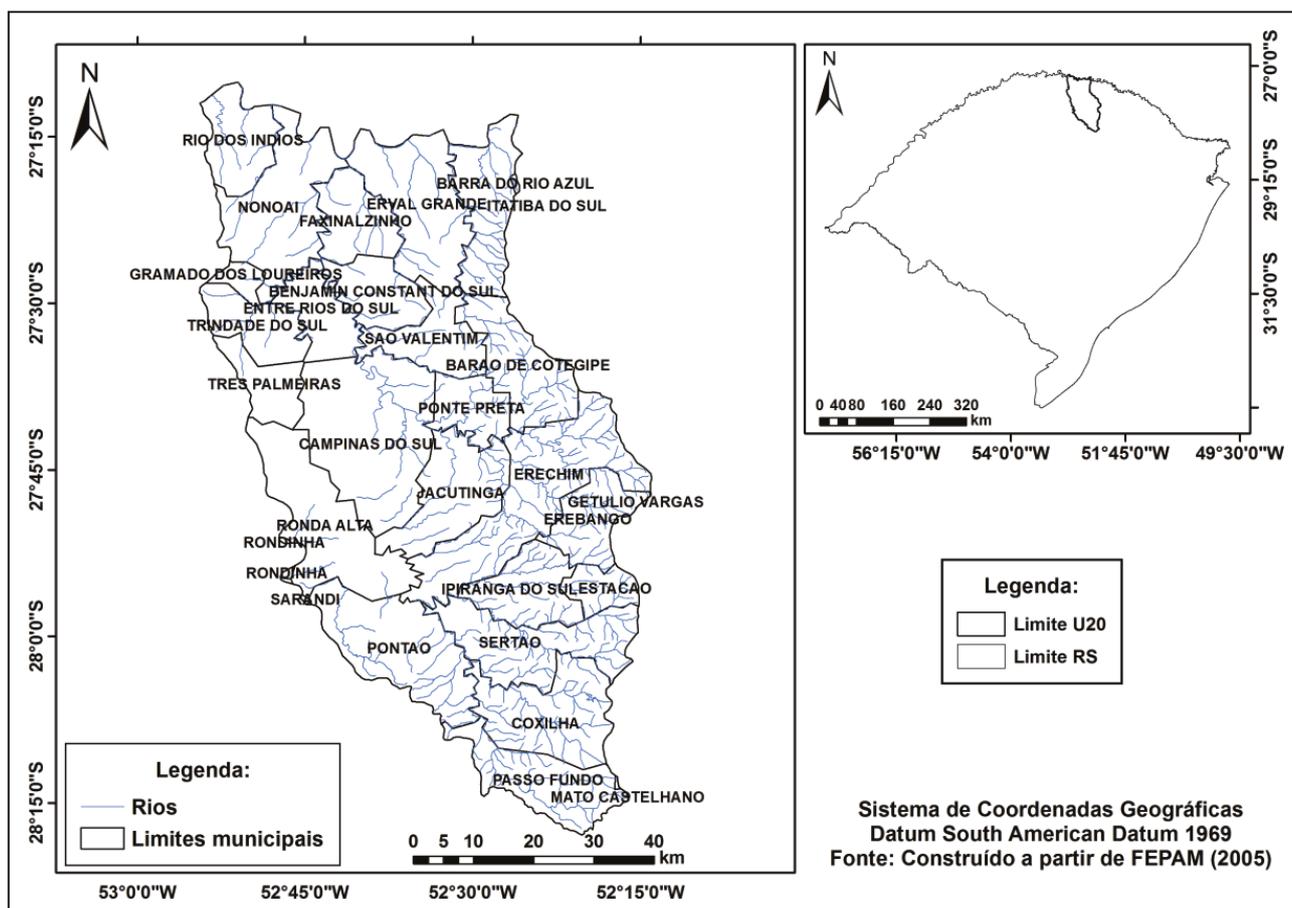


Figura 1 Localização e municípios que compõem a BHRPF – U20 (Construído a partir de FEPAM, 2005).

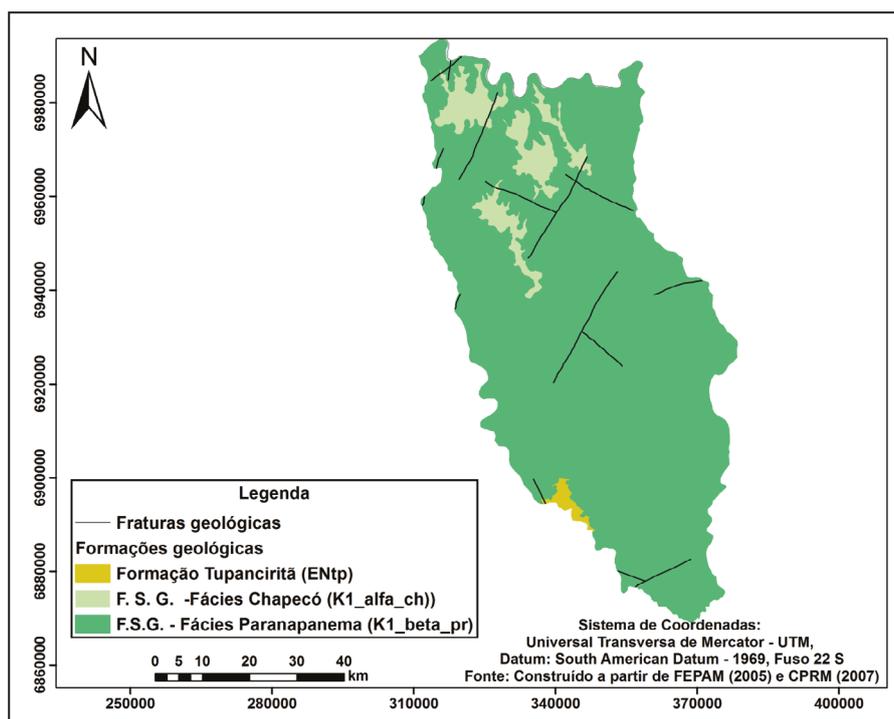


Figura 2 Formações geológicas presentes na BHRPF – U20 (Construído a partir de CPRM, 2007).

Sistema Aquífero Serra Geral II (sg2): Ocupa a parte oeste do Estado, os limites das rochas vulcânicas com o rio Uruguai e as litologias gonduânicas além da extensa área nordeste do

planalto associada com os derrames da Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral. Suas litologias são predominantemente riolitos, riolacitos e em menor proporção, basaltos fraturados.

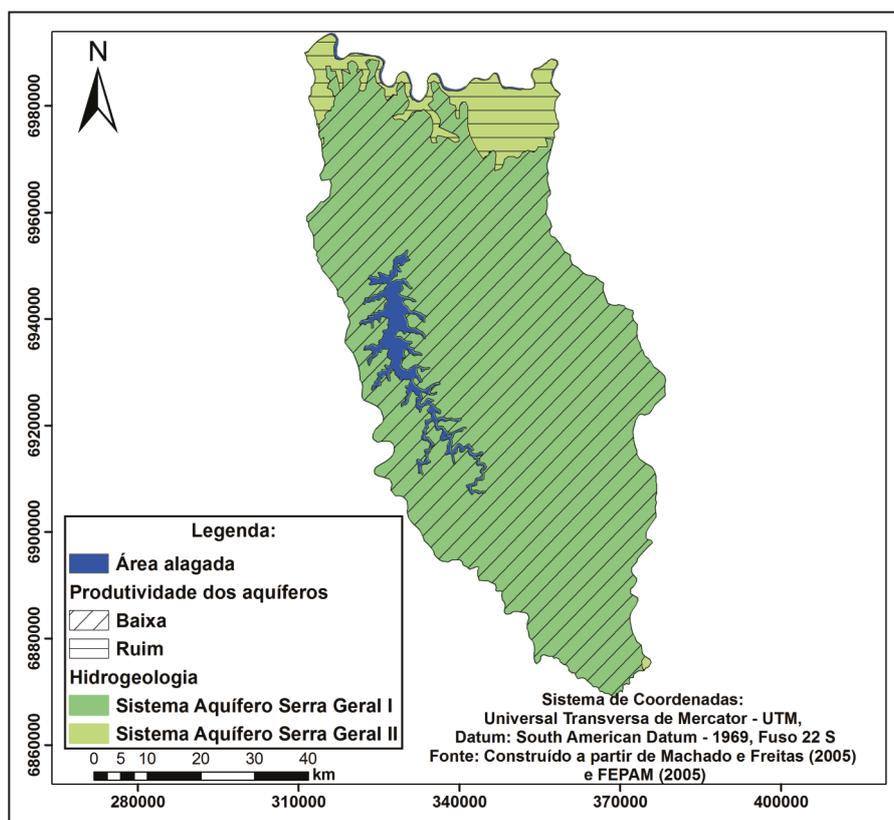


Figura 3 Hidrogeologia presente na BHRPF – U20 (Construído a partir de Machado & Freitas, 2005).

2.2 Obtenção dos Dados e Desenvolvimento de Mapas

A delimitação da área de estudo foi realizada a partir de um arquivo no formato *shapefile*, disponibilizado pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – FEPAM (2005). As informações necessárias à aplicação do sistema GOD e superfície potenciométrica foram adquiridas no sítio da CPRM/SIAGAS (SIAGAS, 2015): (<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>). Posteriormente, gerou-se um banco de dados com as principais informações relativas aos parâmetros de cada captação por poço tubular e/ou escavado, como: coordenadas geográficas e UTM (*Universal Transversa de Mercator*), nível estático, perfis geológicos, cota do terreno, dentre outras.

Para a realização do presente estudo, foram utilizadas as informações de 439 poços cadastrados no sistema SIAGAS, distribuídos na BHRPF. Esses poços foram selecionados, entre um total de 607 poços, pois foram aqueles que apresentaram todas as informações necessárias à aplicação do sistema GOD (Foster *et al.*, 2002; 2006).

A determinação da vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação através do sistema GOD (Foster *et al.*, 2002; 2006), considera os parâmetros G (Grau de confinamento hidráulico da água subterrânea/aquífero), O (Ocorrência de estratos de cobertura) e D (Profundidade/distância até o lençol freático ou o teto do aquífero confinado). Sendo assim, para a determinação do índice de vulnerabilidade, seguiu-se as etapas ilustradas na Figura 4.

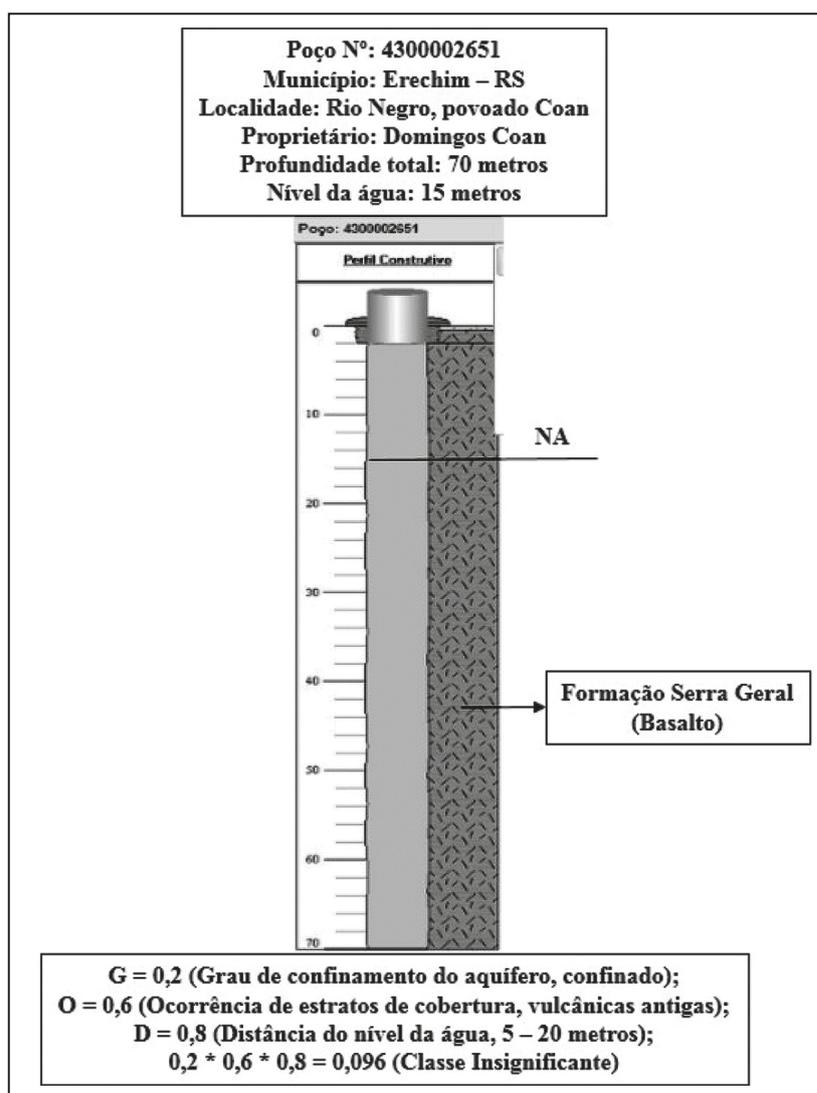


Figura 4 Exemplo de aplicação do sistema GOD (Foster *et al.*, 2002; 2006) em poço tubular (Construído a partir de SIAGAS, 2015).

O índice de vulnerabilidade é obtido a partir do produto das variáveis GOD, sendo assim, obtém-se a vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação, que pode ser classificada como: insignificante (valores entre 0 e 0,1); baixa (0,1 e 0,3); média (0,3 e 0,5); alta (0,5 e 0,7) e; extrema (0,7 e 1). Os resultados foram especializados em mapas temáticos.

Heath (1983) salienta que a superfície potenciométrica representa a carga total de água em um aquífero, ou seja, ela indica a altura acima do *Datum* no qual a água está presente. A superfície potenciométrica é obtida pela relação entre a cota altimétrica da “boca do poço” e o nível da água. Por exemplo, na área de estudo, o poço N° 4300001990, localizado no município de Erechim (RS), possui cota topográfica na “boca do poço” de 730 m e nível de água de 14 m, com isso a sua superfície potenciométrica é de 716 m. Esse parâmetro também indica a tendência de direção do fluxo subterrâneo, útil na avaliação do movimento de cargas contaminantes.

Para a interpolação dos valores e a apresentação dos resultados em forma de mapas, utilizou-se o *Software ArcGIS 10.1*. Para a interpolação das informações foi utilizado o método IDW (*Inverse Distance Weighting*) (Landim, 2000), uma vez que na comparação com outros interpoladores, foi o que melhor representou a distribuição dos dados. Foi usado o sistema de coordenadas UTM com o *Datum SAD69 (South American Datum 1969)*, que tem com referência vertical o Porto de Imbituba no estado de Santa Catarina.

3 Resultados e Discussão

A vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação na BHRPF variou de insignificante a alta. De acordo com os dados obtidos após a aplicação do sistema GOD, a classe de vulnerabilidade insignificante esteve presente em 3.549,77 km², o que corresponde a 73,15 % da área total da BHRPF. A classe de vulnerabilidade baixa representou 1.241 km² correspondendo a 25,58 %. A vulnerabilidade média representou 60,89 km², correspondendo a 1,26 % da área. Na classe de vulnerabilidade alta, a porção mapeada foi de 0,28 km², correspondendo a 0,01 % da área. A Figura 5 e a Tabela 1 ilustram as

classes de vulnerabilidade e as respectivas áreas de abrangência presentes na bacia U20.

Os autores Oliveira & Campos (2012) descrevem que, nas áreas onde as camadas confinantes da Formação Serra Geral apresentam espessura total menor que 400 metros e que o basalto apresenta fraturas, o aquífero é considerado semi-confinado. Na área de estudo, poucos poços apresentaram tal condição de penetração. Destaca-se, no município de Erechim (RS), o estudo realizado por Silvério da Silva *et al.* (2013) aplicando o sistema GOD, onde os autores encontraram classes de vulnerabilidade variando de insignificante a média, similares as encontradas neste estudo.

Pontes *et al.* (2009) afirmam que, em um estudo realizado em Campo Grande (MS), o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) influencia o Sistema Aquífero Guarani (SAG), pois os poços que atingiram o SAG apresentaram níveis estáticos correspondentes aos níveis dos poços perfurados apenas no SASG, indicando que localmente a potencimetria do SASG é maior do que a do SAG. Na área de estudo, no município de Erechim-RS, possui um poço tubular de 830 m que capta água do SAG, o mesmo foi construído com objetivo de sanar os problemas relativos ao abastecimento de água no município (Conselho em Revista, 2005).

Classes de vulnerabilidade	Área (km ²)	Área (%)
Insignificante	3.549,77	73,15
Baixa	1.241,16	25,57
Média	60,89	1,26
Alta	0,28	0,01
Total	4.852,11	100,00

Tabela 1 Classes de vulnerabilidade presentes na BHRPF – U20.

A partir da Figura 5, é possível perceber que em grande parte da área, na bacia hidrográfica analisada, predomina a classe de vulnerabilidade insignificante. Como citado anteriormente, isso ocorre pela presença de rochas basálticas da Formação Serra Geral, maciças, localmente amigdalóides e/ou vesiculares, onde a água subterrânea em grande parte de sua área está sob camada formada por basalto (confinante). De acordo com OEA/PEA/GEF (2009), na área de estudo, está presente a Zona de Forte Confinamento (ZFC), correspondente às zonas

com espessuras confinantes de basalto superior a 100 metros. A água disponível é oriunda dos efeitos mecânicos da compressão do corpo do aquífero, onde a taxa de circulação da água é muito baixa, conseqüentemente, ocasionando uma baixa recarga do aquífero, e conseqüentemente deixando-o pouco vulnerável à contaminação natural.

Os autores Löbler *et al.* (2013), constataram, em estudo realizado no município de Restinga Seca (RS), no aquífero da Formação Serra Geral, o predomínio das classes insignificante e baixa. Isso ocorre devido a presença de camadas argilosas impermeáveis em seus solos na zona aerada ou vadosa, as quais protegem o aquífero contra a contaminação natural. Reginato & Ahlert (2013) relatam que em áreas onde predomina o SASG apresentam vulnerabilidade médias e baixas, o que indica uma proteção natural razoável do aquífero.

A classe de vulnerabilidade alta é representada por uma pequena área da bacia, onde o nível estático está próximo da superfície, ou ainda, pela presença de material permeável na constituição do solo, apresentando condições mais vulneráveis à contaminação. Kemerich *et al.* (2013) relatam que, nas águas subterrâneas da bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim (RS), as classes de vulnerabilidade alta e extrema ocorreram devido aos níveis estáticos dos poços estarem muito próximos a superfície. Ou ainda, pela formação geológica existente, com solos de arenitos, com elevada relação de porosidade/permeabilidade, o que tornam o aquífero mais vulnerável. Nenhum poço foi detectado com classe de vulnerabilidade extrema, assim não estando exposto diretamente a contaminação da água subterrânea.

Como podem ser observado no mapa da Figura 5, os maiores municípios da BHRPF (Erechim e Passo Fundo), apresentam classes de vulnerabilidade variando de insignificante a média. Isso é de suma importância no contexto de planejamento de locação de obras com potencial causador de impactos ambientais negativos, pois permitem sua localização em áreas menos vulneráveis, por exemplo. Outro fato que merece destaque é a área urbana dos dois municípios citados anteriormente, que encontram-se em classes de vulnerabilidade insignificante a média. Sendo assim, estão mais susceptíveis a contaminação oriunda dos centros urbanos, tais como esgo-

tos domésticos, depósitos de resíduos, dentre outras atividades.

A Figura 6 ilustra a simulação da superfície potenciométrica da BHRPF. Como pode ser observado, a porção sul da BHRPF apresenta os maiores valores de superfície potenciométrica, enquanto a parte norte e central da área, apresentam os menores valores. Monteiro (2003), diz que o conhecimento acerca da superfície potenciométrica é muito importante, pois permite ilustrar as prováveis áreas de recarga (máximo potencial hidráulico) e descarga (menor potencial hidráulico) dos recursos hídricos subterrâneos.

4 Conclusões

Com auxílio das informações hidrogeológicas disponíveis no banco de dados do SIAGAS, foi aplicado o sistema GOD (Foster *et al.*, 2002; 2006), para caracterização de vulnerabilidade do aquífero à contaminação na BHRPF. A área de estudo apresenta como litologias predominantes a Formação Serra Geral e/ou seus solos como produto do intemperismo. Com a aplicação do sistema GOD (Foster *et al.*, 2002; 2006), foram obtidos dados que possibilitaram classificar a vulnerabilidade variando de insignificante (3.549,77 km²) a alta (0,28 km²). Houve um predomínio das classes insignificante e baixa, sendo assim, a área apresenta condições naturais de proteção do aquífero.

O sistema GOD (Foster *et al.*, 2002; 2006) é uma importante ferramenta para auxiliar o Departamento de Recursos Hídricos (DRH), na outorga o direito de uso dos recursos hídricos, ou ainda auxiliar no processo de tomada de decisão em órgãos licenciadores, visto que identifica as áreas mais adequadas para o desenvolvimento de atividades causadoras de impactos ambientais. Sugere-se a aplicação de outras metodologias e de estudos particulares e locais para análise e comparação.

Sugere-se que os resultados da pesquisa sejam utilizados pelos gestores municipais em futuros planos diretores de uso e ocupação do solo urbano e rural. Além disso, pode-se incluir o presente estudo em planos de manejo da bacia.

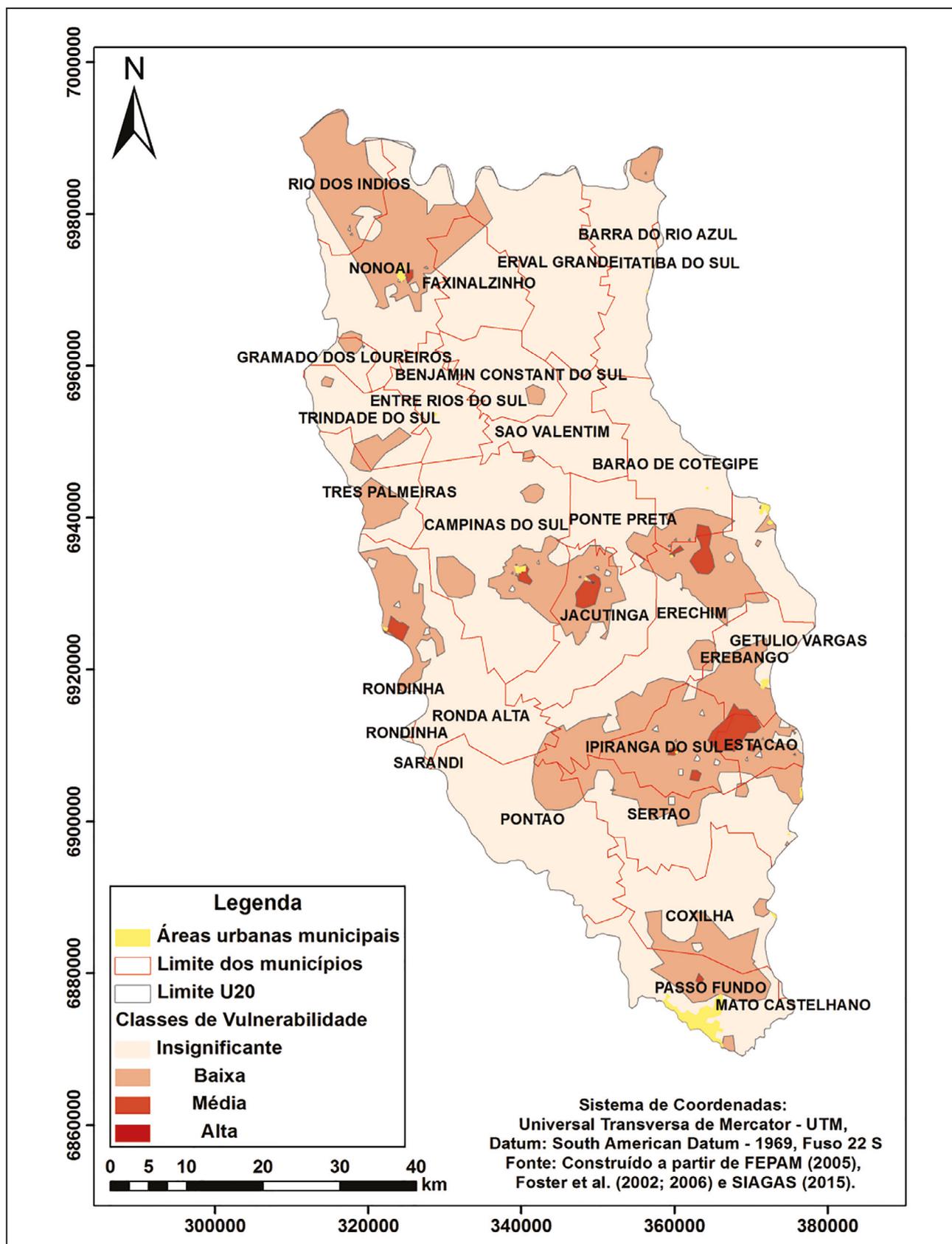


Figura 5 Mapa da vulnerabilidade natural à contaminação natural do aquífero na BHRPF - U20.

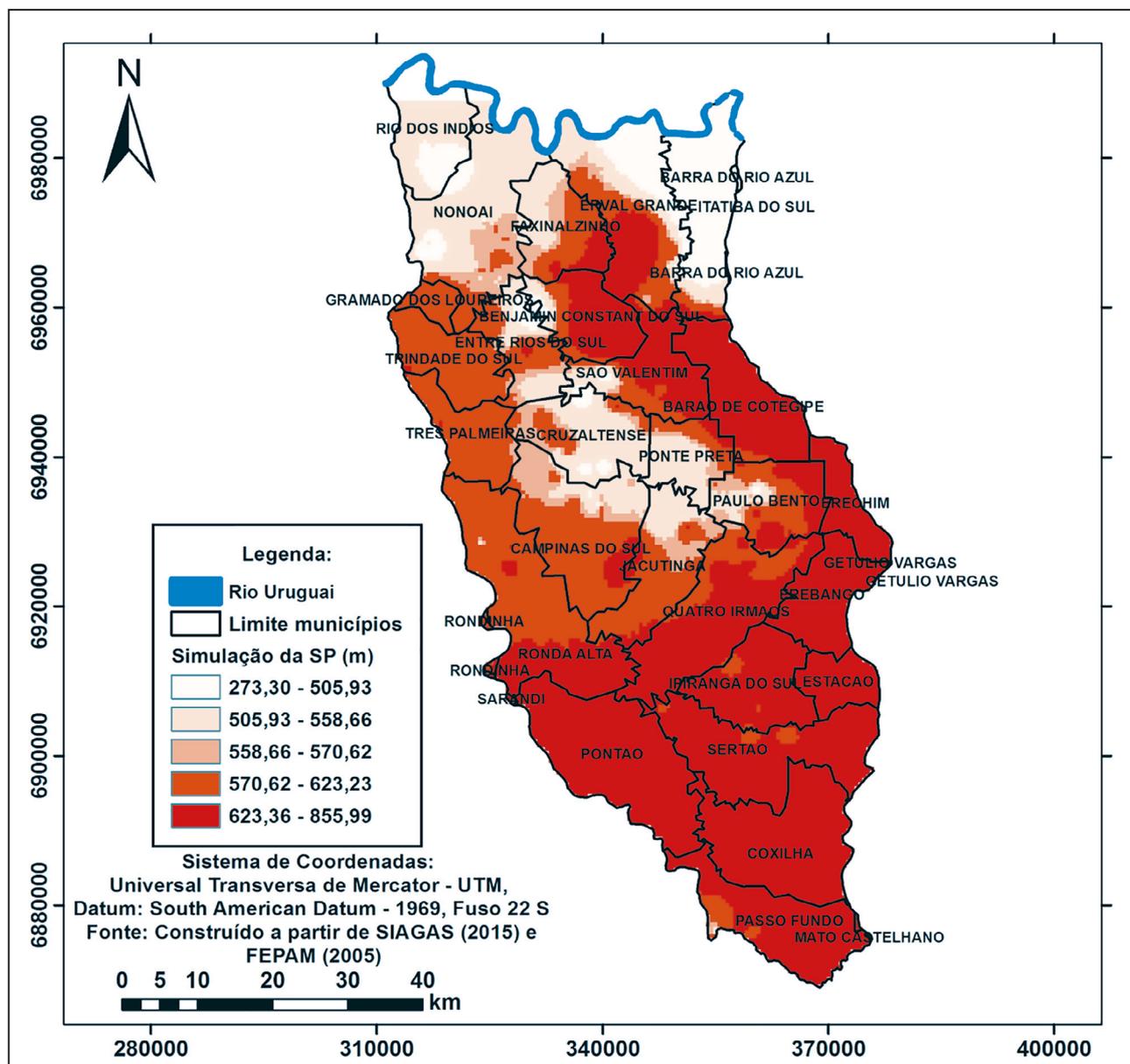


Figura 6 Simulação da SP na BHRPF - U20.

5 Referências

- Aller, L.; Bennet, T.; Lehr, J. H. & Petty, R.J. 1987. DRASTIC. *A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings*. United States: Environmental Protection Agency/ EPA. 29 p.
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM. 2007. Mapa Geológico do Rio Grande do Sul, escala 1:750.000. CPRM: Brasília.
- Conselho em Revista – CREA/RS. 2005. O verdadeiro Aquífero Guarani. *Revista Mensal do Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura e Agronomia do Rio Grande do Sul*, 1 (10): 11 – 13.
- Conselho Nacional de Recursos Hídricos- CNRH. 2006. Moção CNRH N.º 38, de 7 de dezembro de 2006. CNRH: Brasília.
- Feitosa, F.A.C.; Manoel Filho, J.; Feitosa, E. C. & Demetrio, J.G.A. 2008. *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. 3 ed. Rio de Janeiro: CPRM/LABHIDRO, 812p.
- Foster, S.; Hirata, R.; Gomes, D.; D'elia, M. & Paris, M. 2002. *Groundwater quality protection: a guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies*. 1. ed. [s.l.] Washington, DC, World Bank. 114p.
- Foster, S.; Hirata, R.; Gomes, D.; D'elia, M. & Paris, M. 2006. *Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agencias ambientais*. Groundwater Management Advisory GW.MATE WB: Washington, 114 p.
- Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – FEPAM. 2005. *Base cartográfica digital*

- do RS 1:250.000. Disponível em: http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/geo/bases_geo.asp Acesso em: 25 de Fevereiro de 2015.
- Heath, R.C. 1983. *Basic Ground-water hidrology*. Virginia: USGS.
- Kemerich, P.D.C.; Martins, S.R.; Kobiyama, M.; Silveira, R.L.; Descovi Filho, L.; Rizzardi, A.S. & Borba, W.F. 2013. Vulnerabilidade natural à contaminação da água subterrânea na bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim: uso da metodologia GOD. *Revista Engenharia Ambiental (Online)*, 10: 189-207.
- Landim, P.M.B. 2000. *Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas*. Rio Claro: DGA/IGCE/UNESP, 20 p.
- Löbler, C.A.; Silva, J.L.S.; Martineli, G.V. & Ertel, T. 2013. Pontos Potenciais de Contaminação e Vulnerabilidade Natural das Águas Subterrâneas do Município de Restinga Seca – RS. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 6: 500-509.
- Machado, J.L.F. & Freitas, M.A. 2005. Projeto mapa hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, CPRM.
- Maia, P.H.P. & Cruz, M.J.M. 2011. Um novo método para avaliar a vulnerabilidade de aquíferos. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol*, 15: 29-40.
- Monteiro, R.C. 2003. *Estimativa espaço-temporal da superfície potenciométrica do Sistema Aquífero Guarani na cidade de Ribeirão Preto (SP)*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Estadual Paulista, Tese de Doutorado, 233 p.
- Organização dos Estados Americanos- OEA - GEF - Global Environment Facility. 2009. *Projeto de proteção ambiental e desenvolvimento sustentável do Sistema Aquífero Guarani*. Programa Estratégico de Ação – PEA. [S.l.], 102 p.
- Oliveira, L.A. & Campos, J.E. 2012. Condições de circulação do Sistema Aquífero Guarani no estado de Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, 42(Suppl 1): 186-195.
- Pontes, C.H.C.; Lastoria, G.; Filho, A.C.P.; Gabas, S.G. & Oliveira, P.T.S. 2009. Determinação da vulnerabilidade do aquífero basáltico no campus da UFMS, em Campo Grande – MS. *Águas Subterrâneas*, 23: 105-120.
- Reginato, P.A.R. & Ahlert, S. 2013. Vulnerabilidade do Sistema Aquífero Serra Geral na Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. *Águas Subterrâneas*, 27: 32 - 46.
- Ribeiro, D.M.; Rocha, W.F. & Garcia, A.J.V. 2011. Vulnerabilidade natural dos aquíferos da sub-bacia do Rio Siriri, Sergipe. *Águas Subterrâneas*, 25: 91-102.
- Santos, R.A.; Cruz, M.J.M. & Nascimento, S.A.M. 2010. Avaliação da vulnerabilidade natural de aquíferos cársticos: subsídios para uma gestão dos recursos hídricos subterrâneos. *Cadernos de Geociências*, 7: 4 – 62.
- Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul- SEMA. 2004. *Mapa das Bacias Hidrográficas e Municípios do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: SEMA.
- Sistema de Informações de Águas Subterrâneas- SIAGAS. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>>. Acesso em: 28 fev./2015.
- Silvério Da Silva, J.L.; Descovi Filho, L.L.V.; Lorensi, R.P.; Cruz, J.C. & Eltz, F.L. 2013. Vulnerabilidade do Aquífero Serra Geral à contaminação no município de Erechim - Rio Grande do Sul - Brasil. *Ciência e Natura*, 35: 10-23.