

VULNERABILIDADE NATURAL À CONTAMINAÇÃO DO SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL EM ARVOREZINHA - RS

Natural vulnerability to contamination of the Serra Geral Aquifer System in Arvorezinha - RS

Maurício Coradi

Engenheiro Ambiental e Sanitarista, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Brasil.

mauriciocoradi12@hotmail.com

Malva Andrea Mancuso

Doutora em Hidrogeologia, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Brasil.

malvamancuso@ufsm.br

Juliana Scapin

Doutora em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Brasil.

juliana.scapin@ufsm.br

Willian Fernando de Borba

Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Brasil.

willian.borba@ufsm.br

Recebido: 09.03.2022

Aceito: 24.03.2022

Resumo

O processo de gerenciamento dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos desempenha uma importante ferramenta de planejamento no cenário social, ambiental e econômico, não somente em escala local, mas também regional. Diante disso, essa pesquisa busca analisar a vulnerabilidade natural à contaminação do Sistema Aquífero Serra Geral na escala do Município de Arvorezinha - RS. Para isso, foi consultada a base de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas, e aplicado o sistema GOD. Além disso, foram alocadas as principais atividades contaminantes existentes, como cemitérios e postos de combustíveis. Os resultados indicaram o predomínio da classe de vulnerabilidade baixa, em mais de 90 % da área Municipal, seguido da classe insignificante, em aproximadamente 8 %. Os cemitérios estiveram alocados nas menores classes de vulnerabilidade, o que indica uma condição de proteção natural do meio físico ao desenvolvimento de atividades antrópicas na superfície e subsuperfície. Com isso, conclui-se que as características geológicas e hidrogeológicas do local resultaram em uma maior proteção do meio natural, além da alocação das atividades avaliadas nas menores classes de vulnerabilidade.

Palavras-chave: Água subterrânea; Cemitérios; Gerenciamento de recursos hídricos; Sistema GOD.

Abstract

The management process of surface and underground water resources plays an important planning tool in the social, environmental and economic scenario, both on a local and regional scale. Therefore, this research seeks to analyze the natural vulnerability to contamination of the Serra Geral Aquifer System at the scale of the Municipality of Arvorezinha - RS. First, the Groundwater Information System database was consulted, and the GOD system was applied. In addition, the main existing contaminating activities were allocated, such as cemeteries and gas stations. The results indicated the predominance of the low vulnerability class in more than 90 % of the Municipal area, followed by the insignificant class in approximately 8 %. Furthermore, the cemeteries were allocated to the lowest vulnerability classes, indicating a condition of natural protection of the physical environment to develop human activities on the surface and subsurface. With this, one concludes that the geological and hydrogeological characteristics of the site resulted in greater protection of the natural environment, in addition to the allocation of activities evaluated in the lowest vulnerability classes.

Keywords: Groundwater; Cemeteries; Management of water resources; GOD system.

1. INTRODUÇÃO

Os mananciais subterrâneos desempenham um papel fundamental no abastecimento de água, seja para a população urbana ou rural, de muitos Municípios Brasileiros. No Estado do Rio Grande do Sul, 57,56 % dos municípios são abastecidos exclusivamente por águas subterrâneas (ANA, 2015).

Diante disso, pesquisas que tem como objetivo analisar a capacidade do meio natural ao desenvolvimento de atividades antrópicas são essenciais para a gestão e preservação desse recurso subterrâneo. Hager et al. (2002) afirmam que a importância das águas subterrâneas ficou mais evidente com o aumento da demanda e a diminuição da disponibilidade (em aspectos quali e quantitativos) das águas superficiais.

Aliado a isso, diversos estudos, desenvolvidas tanto no cenário nacional quanto internacional, buscam estimar a vulnerabilidade à contaminação de aquíferos (AL-ADAMAT; AL-SHABEEB., 2017; KUMAR; KRISHNA, 2020; OMOTOLA; OLADAPO; AKINTORINWA, 2020; RAJPUT; GOYAL; BRIGHU, 2020; SORIANO JÚNIOR et al., 2021). Além disso, cruzam as informações de vulnerabilidade com atividades potencialmente contaminantes.

Dentre as principais atividades contaminantes do meio, Foster et al. (2002; 2006), descrevem os cemitérios e postos de combustíveis, como exemplos. No caso dos cemitérios, isso se deve, principalmente pela ausência de estudos prévios de instalação e operação, sendo que somente a partir de 2003, foi criada uma legislação específica sobre o tema, sendo essa a Resolução CONAMA 335/2003 (CONAMA, 2003).

Essa pesquisa busca analisar a vulnerabilidade natural à contaminação do Sistema Aquífero Serra Geral no Município de Arvorezinha. Para isso, foram coletadas informações hidrogeológicas e geológicas do local, além da identificação de atividades com potencial de contaminação, desenvolvidas na área urbana do município.

2. METODOLOGIA

2.1. Caracterização geral do município de Arvorezinha-RS

O Município de Arvorezinha está localizado na microrregião de Guaporé, Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). Está a uma distância aproximada de 210 km da capital do Estado, Porto Alegre, e possui uma população de 10.225 habitantes, sendo 38,65 % residentes do meio rural e 61,35% da área urbana (IBGE, 2010).

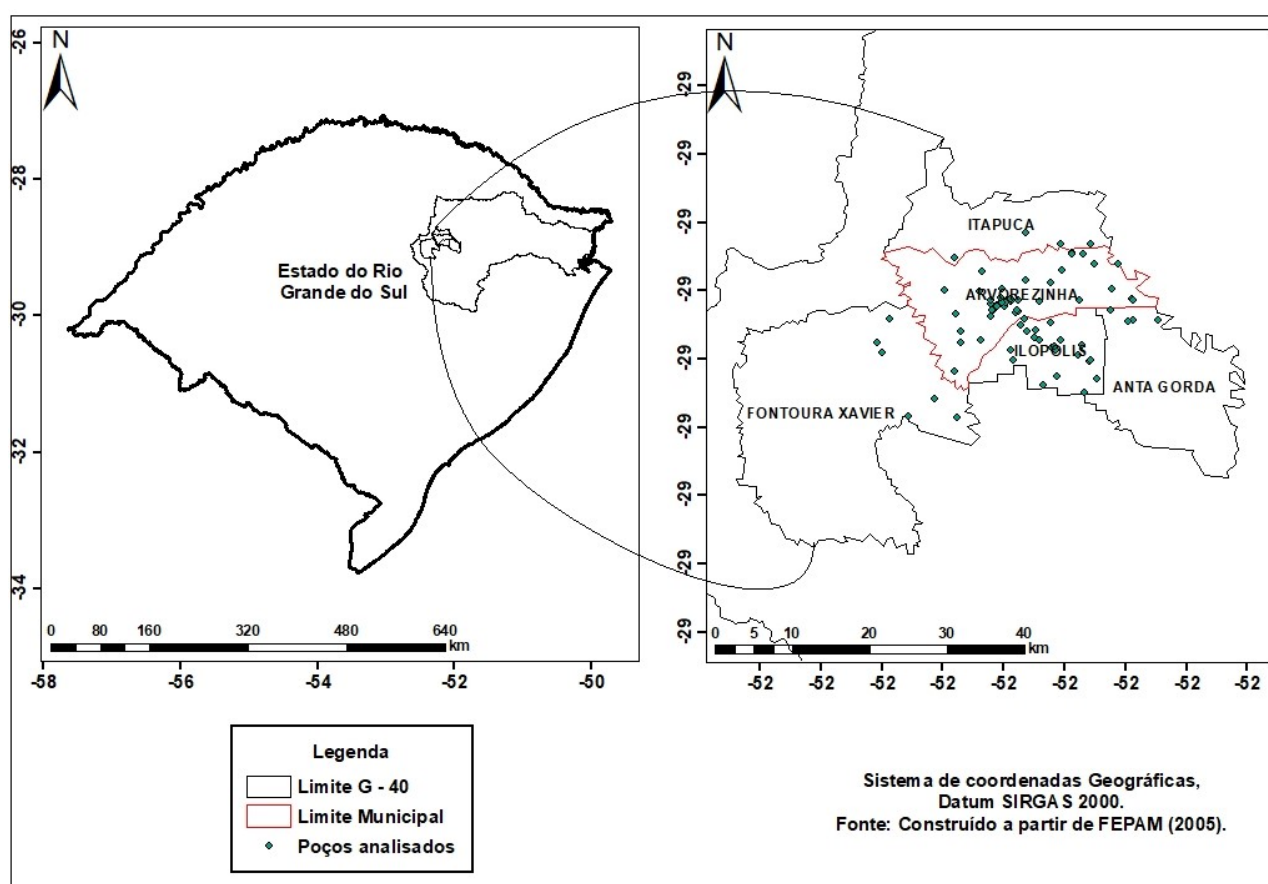


Figura 1 - Localização do município de Arvorezinha - RS.

Fonte: Construído a partir de FEPAM (2005).

Em relação às atividades econômicas, o ponto forte da economia do município é a agricultura de pequenas propriedades (ARVOREZINHA, 2021). Ainda, segundo os autores, as principais culturas de cultivo são: erva-mate, milho, fumo, eucalipto, a

pecuária (avicultura, bovinocultura e suinocultura), além do comércio que se apresenta bem desenvolvido, apresenta indústrias nos ramos da erva-mate e artefatos de cerâmica para construção civil.

Em relação à hidrologia, o município está inserido 100 % na G - 040 - Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas (GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2018), conforme Figura 1, sendo os rios Forqueta e Guaporé os principais recursos hídricos superficiais que atuam como divisores de territórios com outros municípios.

No que se refere à hidrogeologia local (Figura 2A), conforme Machado e Freitas (2005), na área tem-se o Sistema Aquífero Serra Geral I (SASG I) e II (SASG II). Conforme os autores, o SASG I representa um aquífero com alta a média possibilidade para águas subterrâneas em rochas com porosidade por fraturas. Já o SASG II, representa um aquífero com baixa possibilidade para águas subterrâneas em rochas com porosidade por fraturas. Com relação à geologia (Figura 2B), a CPRM (2006) descreve que a área de estudo está inserida na nos derrames basálticos da Formação Serra Geral, Fácies Caxias e Gramado.

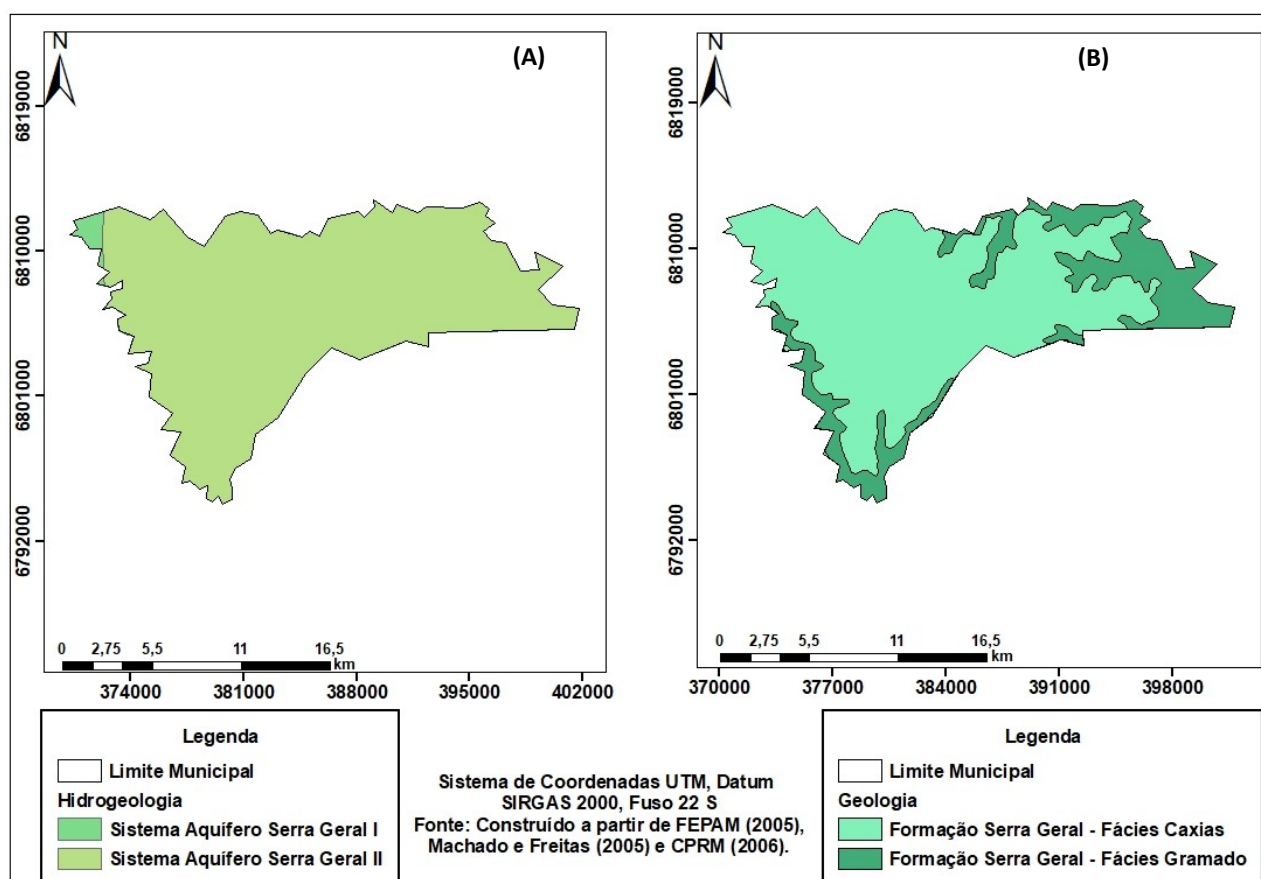


Figura 2 - Hidrogeologia (A) e geologia (B) presente na área de estudo.

Fonte: (A) FEPAM (2005) e Machado e Freitas (2005) e (B) FEPAM (2005) e CPRM (2006).

2.2. Estimativa da vulnerabilidade à contaminação pelo sistema GOD (FOSTER et al., 2002; 2006) e do perigo pelo método POSH (FOSTER et al., 2002; 2006)

Para a estimativa da vulnerabilidade à contaminação, foi utilizado o sistema GOD (FOSTER et al., 2002; 2006). Foi consultada a base de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), acesso pesquisa geral, disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php>.

Dessa base de dados, foram utilizadas informações de interesse dos poços disponíveis: Coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM); perfil geológico (para a determinação do grau de confinamento e ocorrência de extratos de superfície) e nível estático da data de perfuração do poço (para a determinação da distância até o nível potenciométrico). Foram utilizadas ainda informações de 89 poços, sendo 50 localizados no Município de Arvorezinha, e os 39 demais nos municípios limítrofes de Anta Gorda (4 poços), Fontoura Xavier (6 poços), Ilópolis (25 poços) e Itapuca (4 poços). Na Figura 1, pode ser observada a localização dos poços analisados.

Isso se fez necessário, pois as informações disponíveis para Arvorezinha não representam a totalidade do município, além disso, buscou-se definir a escala regional (COSTA et al., 2011), em virtude do fraturamento do aquífero (HEATH, 1982). Na Figura 3, ilustra-se um exemplo de aplicação do método GOD (FOSTER et al., 2002; 2006) na área de estudo.

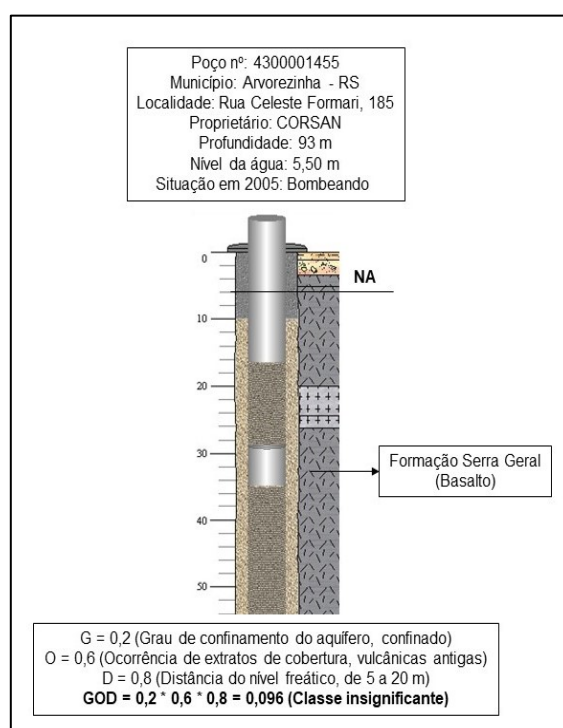


Figura 3 - Exemplo de aplicação do método GOD (FOSTER et al., 2002; 2006) para um poço no Município de Arvorezinha - RS. **Fonte:** Construído a partir de Foster et al. (2002; 2006) e SIAGAS (2021).

A partir do mapa de vulnerabilidade, foram alocadas as atividades potencialmente contaminantes, conforme o método POSH (FOSTER et al., 2002; 2006). Esse método classifica as atividades, conforme o potencial de carga contaminante do subsolo, em elevado, moderado e reduzido. Nesse estudo, foram analisadas as atividades de cemitérios e postos de combustíveis, as quais foram localizadas com auxílio do *Google Earth* (GOOGLE, 2021), e alocadas no mapa de vulnerabilidade. A escolha de ambas as atividades se deu em virtude da facilidade em localizar com auxílio de imagens de satélite.

2.3. Tabulação e espacialização das informações

Após análise das informações disponíveis no SIAGAS (2021) e aplicação do método GOD (FOSTER et al., 2002; 2006) foi gerada uma planilha eletrônica com as informações de interesse. A partir disso, os dados foram especializados por meio do *software* de geoprocessamento *ArcGIS®*, versão 10.2 (Licenciado pela Universidade Federal de Santa Maria - UFSM).

As informações foram interpoladas com auxílio da ferramenta interpolação do *software*. Para isso, utilizou-se o interpolador *Inverse Distance Weighting* (IDW) descrito por Landim (2000) e amplamente utilizado em estudos de hidrogeológicos nessa formação geológica e hidrogeológica (BORBA et al., 2016a; 2016b; BORBA; LÖBLER; SILVÉRIO DA SILVA, 2018; ROSA et al., 2019; BORBA et al., 2020; FERNANDES et al., 2020a; FERNANDES et al., 2020b; LUNARDI et al., 2021). Para isso, foi utilizado como *Datum* o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000), conforme preposição do IBGE (2015), fuso 22S e sistema de coordenadas UTM, sendo as informações apresentadas em mapas temáticos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1, juntamente com a Figura 4, ilustram a variação das classes de vulnerabilidade na área do Município de Arvorezinha - RS. Como pode ser observado, a vulnerabilidade variou de insignificante (7,72 % da área) a alta (0,16 %), com predomínio da classe baixa (Presente em 90,62 % da área Municipal). Nas menores proporções estiveram presentes as classes média (1,50 %) e alta. Na Tabela 3 pode-se observar a porcentagem de cada classe. O predomínio da presença das menores classes (insignificante e baixa), se deve principalmente, pelas características geológicas hidrogeológicas do local, com a presença do basalto e seus produtos de intemperização,

além de sua condição confinada na maioria dos poços analisados com base nas informações do SIAGAS.

Tabela 1:- Classes de vulnerabilidade e suas respectivas áreas.

Classe de vulnerabilidade	Área (km ²)	% da área
Insignificante	20,98	7,72
Baixa	246,15	90,62
Média	4,07	1,50
Alta	0,44	0,16
Extrema	0,00	0,00
Total	271,64	100,00

Fonte: Construído a partir de Foster et al. (2002; 2006) e SIAGAS (2021).

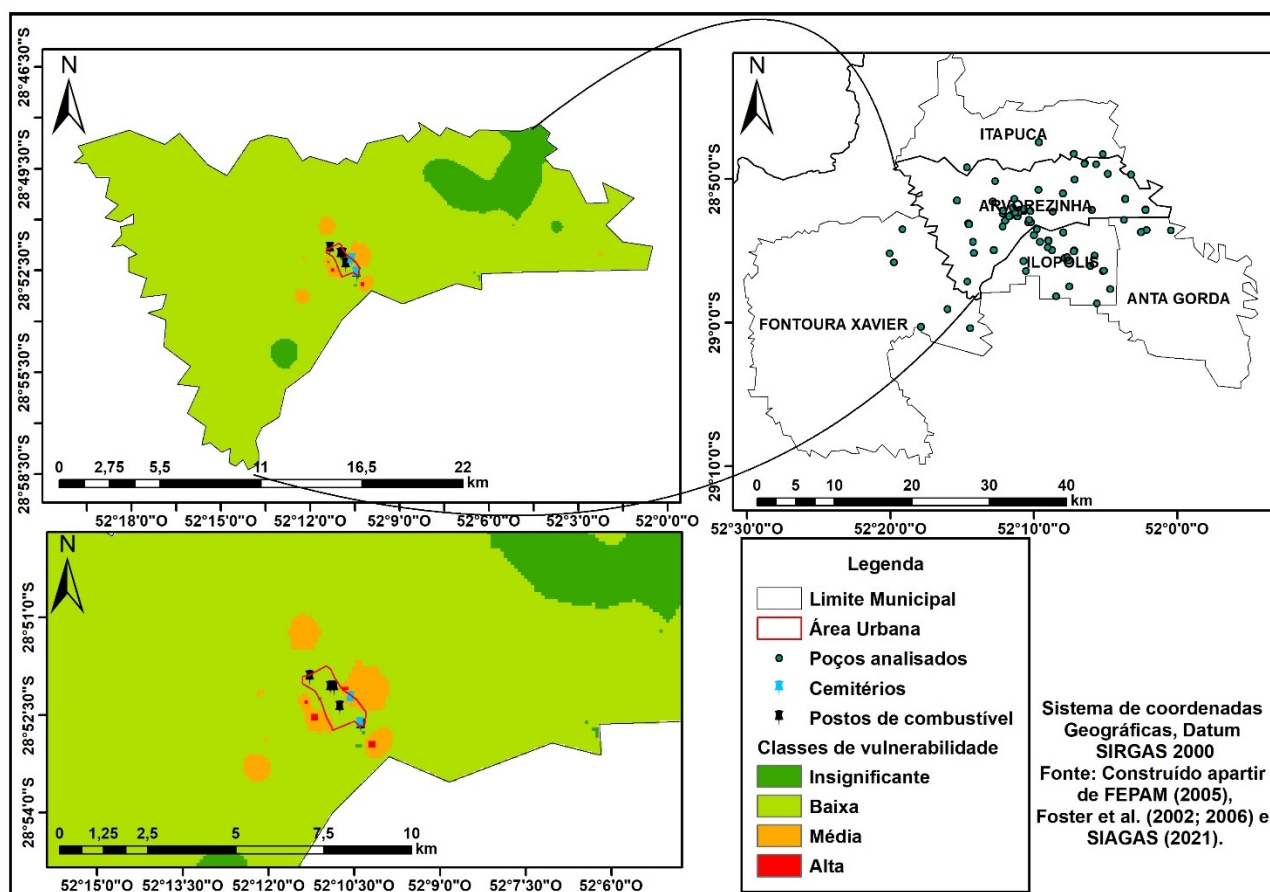


Figura 4 - Vulnerabilidade natural à contaminação do SASG I e SASG II no Município de Arvorezinha - RS.

Fonte: Construído a partir de FEPAM (2005), Foster et al. (2002; 2006) e SIAGAS (2021).

Em estudos realizados em áreas dessas mesmas características geológicas e hidrogeológicas, Borba et al. (2016b) na Bacia Hidrográfica do Rio Passo Fundo - RS, Terra et al. (2016) em Ametista do Sul - RS, Favaretto et al. (2020) em Aratiba - RS, e Fernandes et al. (2020a) em Panambi - RS, todos os autores encontraram predomínio das

menores classes de vulnerabilidade (insignificante a baixa), sendo esses resultados, semelhantes aos encontrados nesse estudo.

Em rochas sedimentares, Kemerich et al. (2010) em pesquisa realizada na cidade de Santa Maria - RS, as áreas de cemitérios estiveram presentes nas classes insignificante a baixa. Crispim et al. (2016) realizou o estudo de vulnerabilidade da cidade Itumbiara - GO, onde as classes insignificante e baixa representaram 85 % da área de estudo.

No que se refere ao potencial de gerar carga contaminante, pelo método POSH (FOSTER et al., 2002; 2006), foram identificados dois cemitérios (Denominados Cemitério 1 e Cemitério 2) e cinco postos de combustíveis na área urbana do Município. Em ambas as áreas, o solo é classificado como ARGISSOLO VERMELHO Amarelo, sendo considerado um solo de alta resistência a impactos ambientais (FEPAM, 2001), inserido na província geológica/geomorfológica das rochas vulcânicas do planalto (FEPAM, 2014) e seus produtos de intemperização. Além disso, ocorre a presença da Formação Serra Geral - Fácies Caxias (CPRM, 2006), com predominância do basalto como constituinte. Assim, apenas o cemitério 1 está inserido na classe de vulnerabilidade média, o cemitério 2 está inserido na classe insignificante (Figura 4).

Além disso, os postos de combustíveis, possuem moderado potencial de geração de carga contaminante (FOSTER et al., 2002; 2006), e como estão inseridos em uma classe de vulnerabilidade insignificante, tendem a não apresentar risco de contaminação.

Em poços localizados no município de Arvorezinha estudos indicaram a presença de chlorpyrifos, atrazine, imidacloprid e clomazone aplicados na cultura do tabaco nas águas subterrâneas (BORTOLUZZI et al., 2007). De acordo com Santos et al. (2021) agrotóxicos como a atrazine e o imidacloprid tem potencial de lixiviação, segundo o índice de GUS e consequentemente, de atingir as águas subterrâneas. Além disso, esse estudo indicou que o imidacloprid apresenta alta capacidade de adsorção no solo, e que a atrazina e o imidacloprido apresentam muito alto potencial de lixiviação para águas subterrâneas. Isso indica que, embora o sistema apresenta uma baixa vulnerabilidade natural intrínseca à contaminação, alguns contaminantes específicos podem lixiviar ao meio subterrâneo.

Já os cemitérios, apresentam risco reduzido, e embora o cemitério 1 esteja em uma área de média vulnerabilidade, seu porte e sistema estrutural não apresentam risco de contaminação. Situação semelhante ocorre com o cemitério 2, que está inserido em uma área de vulnerabilidade classificada como insignificante.

O cemitério 1 possui uma área de 265 m² e conta com oito sepulturas, conforme Figura 5. Nessa área, a profundidade do nível do lençol freático está entre 19 e 27 m (SIAGAS, 2021). Como pode ser observado, o sepultamento ocorre de maneira horizontal, onde as sepulturas não estão em contato direto com o solo, o que diminui o risco de contaminação deste, e dos aquíferos subjacentes.



Figura 5 - Sepulturas existentes na área do cemitério 1.

Fonte: Autores (2021).

Já o cemitério 2, possui duas formas de sepultamento: Uma horizontal (Como é feito tradicionalmente com a estrutura enterrada, semienterrada ou sobre a superfície) como mostrado na Figura 6A, já a segunda forma, ocorre a disposição em estruturas verticais, nas chamadas “capelas” ou estruturas em conjunto (Figura 6B). A área total do empreendimento é de 6.000 m². O nível freático no local está entre 0,2 e 7,2 metros de profundidade conforme interpolação das informações de nível freático disponíveis em SIAGAS (2021).

Esse local, que tem uma área de 4.175 m², apresenta o maior número de pessoas sepultadas, com aproximadamente 570 indivíduos sepultados (este número é estimado pois há sepulturas com mais de um corpo, sendo que a estrutura é projetada para apenas um corpo). Além disso, há construções de capelas e sepulturas verticais coletivas, com capacidade de sepultamento de 162 corpos. As sepulturas horizontais, em sua maioria, estão em bom estado de conservação, e sem rachaduras, evitando a entrada de águas oriundas de precipitações.



Figura 6 - Sepulturas horizontais tradicionais (A) e sepulturas coletivas do tipo “capela” (B) (Arvorezinha, RS). **Fonte:** Autores (2021).

Ainda nessa área, foi construído um edifício horizontal de 400 m² (Figura 7). Nesse edifício os sepultamentos são dispostos numa estrutura vertical, sendo que a construção apresenta quatro andares. O andar subterrâneo tem capacidade para 90 sepultamentos, e os demais pavimentos tem capacidade para 84 sepultamentos. Nesse tipo de estrutura ocorre uma maior proteção do meio subterrâneo, em virtude que chorume gerado não atinge o solo, o que reduz o risco de contaminação.



Figura 7 - Cemitério vertical presente na área de estudo. **Fonte:** Autores (2021).

4. CONCLUSÃO

Com base na aplicação do método GOD no município de Arvorezinha - RS, foi possível estimar a vulnerabilidade intrínseca natural à contaminação, se mostrando um método eficaz na área de estudo. Os resultados indicaram uma variabilidade entre as classes (insignificante a alta), com predomínio da classe baixa (em mais de 90 % da área). Isso se deve, principalmente, pelas características hidrogeológicas do local. Aliado a isso, as atividades contaminantes identificadas se enquadram nas classes de média e baixa vulnerabilidade, e apresentam risco moderado e baixo a contaminação.

Assim, conclui-se que a região possui características naturais de proteção das águas subterrâneas do SASG. Nesse contexto, estudos desse cunho temático se tornam interessantes, em virtude do planejamento urbano ou ainda como meio suporte a planos diretores, por exemplo, pois possibilitam mapear, em escala municipal, as áreas que estão mais vulneráveis ou não à contaminação. Além disso, recomenda-se estudos que visam estimar a vulnerabilidade específica à contaminação.

REFERÊNCIAS

AL-ADAMAT, R.; AL-SHABEEB, A. A Simplified Method for the Assessment of Groundwater Vulnerability to Contamination. **Journal of Water Resource and Protection**, v. 9, p. 305-321, 2017.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas água e esgotos**. Brasília: ANA, 2015.

ARVOREZINHA. **Dados Gerais**. 2021. Disponível em: <http://www.arvorezinhas.com.br/municipio/dados-gerais/> Acesso em: 23 abr. 2021.

BORBA, W. F.; FERNANDES, G. D. A.; TERRA, L. G.; LOBLER, C. A.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Assessment of the Intrinsic Vulnerability to Contamination of the Aquifer in River Basin Passo Fundo of Rio Grande do Sul. **Anuário do Instituto de Geociências (UFRJ. Impresso)**, Rio de Janeiro, v. 39, p. 145-154, 2016.

BORBA, W. F.; LOBLER, C. A.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Caracterização das condições naturais das águas subterrâneas no município de São Borja - RS. **Geociências (São Paulo. Online)**, São Paulo, v. 37, p. 75-84, 2018.

BORBA, W. F.; RUCHEL, B.; MENEGAZZO, K.; PEIL, L. Z.; ROSA, C. N. Aplicação do método índice de susceptibilidade para estimativa da susceptibilidade à contaminação na Bacia hidrográfica dos rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo. **Geologia USP. Série Científica**, São Paulo, v. 20, p. 125-136, 2020.

BORBA, W. F.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; ALLASIA, D. G.; ROSA, C. N.; FAVARETTO, J. R.; RIBEIRO, L. F. T. Geoprocessamento aplicado à determinação do índice de susceptibilidade das captações por poços tubulares do Sistema Aquífero Serra Geral em Frederico Westphalen - Rio Grande do Sul. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, Rio de Janeiro, v. 39, n. 3, p. 79-89, 2016.

BORTOLUZZI, E. C.; RHEINHEIMER, D. S.; GONÇALVES, C. S.; PELLEGRINI, J. B.; MARONEZE, A. M.; KURZ, M. H.; BAKAR, N. M.; ZANELLA, R. Investigation of the occurrence of pesticide residues in rural wells and surface water following application to tobacco. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 8, p. 872-1876, 2007.

BRASIL. **RESOLUÇÃO CONAMA n. 396, de 3 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>. Acesso em: 23 abr. 2021.

BRASIL. **RESOLUÇÃO CONAMA nº 335, de 3 de abril de 2003**. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=359>. Acesso em: 23 abr. 2021.

COSTA, M. L. M. C.; COSTA, M. M. R. R.; REGO, J. C. R.; ALBURQUERQUE, J. do P. T. Preposição de critérios de outorga para águas subterrâneas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 105-113, 2011.

CPRM. COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CPRM, 2006.

CRISPIM, D. C.; ARAÚJO, J. V. G.; FERREIRA, N. C.; SOUZA, S. B. S. e. Aplicação do método GOD para estudo de vulnerabilidade à contaminação de águas subterrâneas em Itumbiara-GO. In: EXPOSIÇÃO DE EXPERIÊNCIAS MUNICIPAIS EM SANEAMENTO. 20., 2016. **Anais...** Jaraguá do Sul: ASSEMAE, 2016.

FAVARETTO, J. R.; ALLASIA, D. G.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; BORBA, W. F.; ROSA, C. N.; FERNANDES, G. D. A. Estimativa da Susceptibilidade à Contaminação do Sistema Aquífero Serra Geral em Aratiba - RS por Diferentes Métodos. **Revista Brasileira de Cartografia (ONLINE)**, Uberlândia, v. 72, p. 1- 8, 2020.

FEPAM. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS ROESSLER. **Mapa de Classificação dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul quanto à Resistência a Impactos Ambientais**. Porto Alegre: FEPAM. 13p. (n.publ.) Relatório final de consultoria elaborado por Nestor Kämpf. Mapa em meio digital. 2001.

FEPAM. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS ROESSLER. 2005. **Base cartográfica digital do RS 1:250.000**. Disponível em: http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/geo/bases_geo.asp Acesso em: 01 abr. 2021.

FEPAM. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER. **Portaria FEPAM Nº 85/2014**. Dispõe sobre o estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade (VRQ) dos solos para 09 (nove) elementos químicos naturalmente presentes nas diferentes províncias geomorfológicas/geológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: FEPAM, 2014.

FERNANDES, G. D.; BORBA, W. F.; BOITO, É.; KEMERICH, P. D. C.; SILVA, J. L. S.; DESCOVI FILHO, L. L. V.; HINTERHOLZ, D.; BAUMHARDT, E. Estimativa da vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero em escala municipal: estudo de caso em Panambi/RS. **Revista de Geociências do Nordeste**, Caicó, v. 6, p. 126-132, 2020.

FERNANDES, G. D. A.; DE BORBA, W. F.; SOUZA, E. E. B.; KEMERICH, P. D. C.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; DESCOVI FILHO, L.; HINTERHOLZ, D.; BAUMHARDT, E. Análise da vulnerabilidade natural à contaminação da água subterrânea: comparativo entre a metodologia GOD e DRASTIC. **Revista de Geociências do Nordeste**, Caicó, v. 6, p. 45-53, 2020.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Groundwater quality protection: a guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies**. Washington: Groundwater Management Advisory GW. MATE WB, 2002. 114p.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. São Paulo: Servemar, 2006. 114p.

GOOGLE. Google Earth. Version Pro. 2021. **Imagens do município de Arvorezinha**. Disponível em: <https://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html>. Acesso em: 10 abr. 2021.

HAGER, F. P. V.; SILVA, J. R. C.; OLIVEIRA, W. A.; ALMEIDA, W. M. A problemática da Gestão das Águas Subterrâneas no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. 12., 2002, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABAS, 2002.

HEATH, R. C. **Basic groundwater hidrology**. Denver: Water supply paper 2240 USGS, 1982. 86p.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Nota Técnica: Término do período de transição para adoção no Brasil do Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS)**, em sua Realização DE 2000,4 (SIRGAS 2000). Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/pmrg/faq.shtm>> Acesso em: 01 abr. 2021.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **População 2010**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/arvorezinha/panorama>>. Acesso em: 25 mar. 2021.

KEMERICH, P. D. C.; DESCOVI FILHO, L. L. V.; UCKER, F. E.; FOLETTO, C. V. Influência dos cemitérios na contaminação da água subterrânea em Santa Maria - RS. **Águas Subterrâneas**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 1, p. 129-141, 2010.

KUMAR, A.; KRISHNA, A. P. Groundwater vulnerability and contamination risk assessment using GIS-based modified DRASTIC-LU model in hard rock aquifer system in India. **Geocarto International**, v. 35, n. 11, p. 1149-1178, 2020.

LANDIM, P. M. B. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas**. Rio Claro: DGA/ IGCE/UNESP. 2000. 20p.

LUNARDI, S.; DE BORBA, W. F.; FAVARETTO, J.; MARTINS, M.; FACCENDA, H. B. Contamination susceptibility of Serra Geral Aquifer at municipal scale in Brazil. **Social Sciences & Humanities Open**, v. 4, n. 1, 2021.

MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. A. **Projeto mapa hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul**: escala 1:750.000, relatório final. Porto Alegre: CPRM, 2005.

OMOTOLA, O. O.; OLADAPO, M. I.; AKINTORINWA, O. J. Modeling assessment of groundwater vulnerability to contamination risk in a typical basement terrain case of vulnerability techniques application comparison study. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 6, p. 1253 - 1280, 2020.

RAJPUT, H.; GOYAL, R.; BRIGHU, U. Modification and optimization of DRASTIC model for groundwater vulnerability and contamination risk assessment for Bhiwadi region of Rajasthan, India. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 79, n. 136, 2020.

RIO GRANDE DO SUL. **Decreto Nº 53.885, de 16 de janeiro de 2018**. Disponível em: <<https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201803/08095109-decreto-53885-2017.pdf>> Acesso em: 05 abr. 2021.

ROSA, C. N.; TASSI, R.; BORBA, W. F.; FAVARETTO, J. R.; FERNANDES, G. D. A.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Relação entre aquíferos susceptíveis à contaminação e Áreas de Preservação Permanente Hídrica em Ijuí, RS. **Pesquisas em Geociências (Online)**, Porto Alegre, v. 46, p. 1-14, 2019.

SANTOS, C. E.; MANCUSO, M. A. Estimativa do potencial de contaminação das águas subterrâneas e superficiais por agrotóxicos no noroeste do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Geociências**, São Paulo, v. 40, n. 4, p. 951-956, 2021.

SEMA. SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. **G040 - Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas**. Disponível em: <<https://sema.rs.gov.br/g040-bh-taquari-antas>>. Acesso em: 06 mai. 2021.

SIAGAS. SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. **Pesquisa geral**. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php>. Acesso em: 05 abr. 2021.

SORIANO JÚNIOR, M. A.; SIEGEL, H. G.; JOHNSON, N. P.; GUTCHESS, K. M.; XIONG, B.; LI, Y.; CLARK, C. J.; PLATA, D. L.; DEZIEL, N. C.; SAIERS, J. E. Assessment of groundwater well vulnerability to contamination through physics-informed machine learning. **Environmental Research Letters**, v. 16, n. 8, 2021.

TERRA, L. G.; BORBA, W. F.; FERNANDES, G. D. A.; TROMBETA, H. W.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Caracterização hidroquímica e vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas no município de Ametista do Sul - RS. **Revista Monografias Ambientais (REMOA/UFSM)**, Santa Maria, v. 15, p. 94, 2015.