



Diagnóstico de vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas por necrópole em Frederico Westphalen - RS

Vulnerability diagnosis of underground water contamination by necropolis in Frederico Westphalen - RS

Jandir Pereira Blasius¹

 <https://orcid.org/0000-0001-8526-7289>  <http://lattes.cnpq.br/4171953860360539>

Rodolfo Busolin Alves dos Santos²

 <https://orcid.org/0000-0001-9948-0283>  <http://lattes.cnpq.br/7472671691344562>

Maximilian Fries³

 <https://orcid.org/0000-0003-3288-9994>  <http://lattes.cnpq.br/8412050240633039>

RESUMO

As águas subterrâneas são amplamente utilizadas para o abastecimento humano e são suscetíveis à contaminação por diversas atividades antrópicas. Sendo assim, este trabalho avaliou a vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas por necrópole no entorno do Cemitério Municipal e da região de Frederico Westphalen - RS, por meio da aplicação do método GOD (G: grau de confinamento hidráulico; O: ocorrência de estratos; e D: nível freático). O levantamento e tratamento das informações dos poços cadastrados no SIAGAS classificou a vulnerabilidade da área municipal com 52,67% na classe insignificante, 40,42% com baixa significância e 6,91% com significância média. Foi constatado que o Cemitério Municipal pertence a área com risco potencial à contaminação. Este trabalho forneceu subsídios que podem ser utilizados para o gerenciamento do uso e ocupação do solo municipal e para a implementação de medidas de proteção das águas subterrâneas.

Palavras-chave: cemitérios; geoprocessamento; método GOD; recursos hídricos.

ABSTRACT

Groundwater is widely used for human supply and is susceptible to contamination from various anthropogenic activities. Therefore, this study assessed the vulnerability to groundwater contamination by a cemetery necropolis in the vicinity of the Municipal Cemetery and region in the city of Frederico Westphalen - RS, through the application of the GOD method (G: hydraulic confinement degree; O: strata occurrence; and D: water table level). The survey and processing of information on the wells registered in SIAGAS have classified the vulnerability of

¹ Universidade Estadual Paulista - Unesp, São Paulo/SP - Brasil. E-mail: jandir.blasius@unesp.br

² E-mail: rodolfo_busolin@hotmail.com

³ E-mail: maximilianfries@unipampa.edu.br



the municipal area at 52.67% in the insignificant class, 40.42% with low significance and 6.91% with medium significance. It was found that the Municipal Cemetery belongs to an area with a potential risk of contamination. This study has provided subsidies that can be used for managing land use and occupation in the municipality and for implementing groundwater protection measures.

Keywords: cemeteries; geoprocessing; GOD method; water resources.

1. INTRODUÇÃO

Do total de água presente na Terra, 97,5% correspondem às águas salgadas contida nos mares e oceanos. Excluindo a água congelada nos polos, a porção de água doce corresponde somente a 0,6% do total. A maior disponibilidade de água doce é concentrada nos aquíferos, os quais armazenam 98% da parcela total de água doce existente no planeta (CETESB, 2020). Neste cenário, o Brasil pode ser considerado um país privilegiado por deter cerca de 12% do total de água doce do planeta, que são armazenadas em corpos hídricos superficiais e subterrâneos (ANA, 2009). No entanto, esse recurso não se encontra distribuído de maneira uniforme, pois mais da metade da água doce do país está concentrada na bacia Amazônica, região com baixa densidade populacional. Em contraste, o estado de São Paulo, que abriga cerca de um quarto da população brasileira, possui apenas 1,6% da água doce disponível no país (The World Bank, 2018).

Além da má distribuição espacial, os desafios relacionados ao abastecimento de água no Brasil são predominantemente atribuídos à combinação de diferentes fatores, tais como: a industrialização, expansão agrícola, crescimento urbano desordenado, agravamento das mudanças climáticas (que geram fenômenos meteorológicos extremos e afetam os processos hidrológicos), mudanças no uso do solo, superexploração dos recursos naturais, gerenciamento inadequado etc. (Veiga; Magrini, 2013; Fernandes *et al.*, 2020; Santos; Reis; Mediondo, 2020; UN, 2024). Esses fatores contribuem para um aumento considerável na demanda local por recursos hídricos, que resultam no esgotamento tanto em termos de quantidade quanto de qualidade.

Diante do atual quadro de insegurança hídrica, tem-se observado um aumento significativo no uso das águas subterrâneas para o abastecimento público ao longo do tempo (Freeze; Cherry, 2017; Oliveira *et al.*, 2023). Em 2019, o Instituto Trata Brasil, em colaboração com Centro de Pesquisa de Águas Subterrâneas (CEPAS-USP), divulgou um estudo intitulado por: "A revolução das águas subterrâneas no Brasil: importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento básico". Conforme constatado nesse estudo, 52% dos municípios brasileiros utilizam águas subterrâneas para o abastecimento, dos quais 36% dependem exclusivamente dessas fontes e 16%, parcialmente (Hirata *et al.*, 2019).

Ainda, cabe destacar que as águas subterrâneas desempenham um papel crucial no cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) assumidos pelo Brasil, frente à Agenda 2030, incluindo o abastecimento público, a irrigação agrícola, o uso industrial e a preservação dos ecossistemas. No entanto, o gerenciamento das



águas subterrâneas enfrenta desafios significativos devido à escassez de dados e à infraestrutura inadequada de saneamento (Hirata *et al.*, 2019). Sendo assim, é questão de saúde pública realizar o estudo, a identificação e remediação de áreas sob influência de qualquer fonte de contaminação, bem como a suspensão do uso das fontes de abastecimento que estão comprometidas.

Neste contexto, diversas atividades configuram como fatores preponderantes para degradação da qualidade das águas, sendo associadas à falta de planejamento do uso e ocupação do solo e à deficiência de saneamento adequado (Hirata *et al.*, 2019; Fernandes *et al.*, 2020). Especificamente, os cemitérios, desde a década de 1950, são vistos como um caso particular de aterro e devido aos riscos que podem causar ao meio ambiente e à saúde pública, passaram a ser foco de estudos ambientais (Kemerich *et al.*, 2012a).

O risco pertinente aos cemitérios é atribuído à composição do necrochorume, que em contato com as águas subterrâneas e superficiais, se dissolve e libera substâncias químicas tóxicas aos seres vivos, além de patógenos, que apresentam alta mobilidade em meios líquidos e no solo, e facilmente atingem locais com nível freático pouco profundo, contaminando as águas subterrâneas (Fiedler *et al.*, 2012; Kemerich *et al.*, 2012; Santos, 2014; Silva, 2018).

Mesmo com a gravidade de risco ambiental e de saúde humana, advindo da utilização de água contaminada por organismos patogênicos e consequente supressão de doenças, os cemitérios não recebem devida atenção, a começar pelos locais em que foram implantados, geralmente, geologicamente impróprios (Kemerich *et al.*, 2010; 2012b; Xavier, 2015).

Especificamente, na área de estudo, o trabalho de Borba *et al.* (2014) apontou a existência de 71 fontes alternativas de abastecimento, sendo 6 fontes/nascentes, 5 poços tubulares e 60 poços escavados. Ainda, Mancuso *et al.* (2013) realizaram análises químicas das águas subterrâneas dos municípios: Frederico Westphalen, Ametista do Sul e Cristal do Sul, e encontraram concentrações de flúor acima dos padrões de potabilidade para consumo humano, estabelecidos pela Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021 (Brasil, 2020). Portanto, a realização deste trabalho é justificada pela necessidade de avaliação de vulnerabilidade natural à contaminação em função da relevância do uso desse recurso na região.

Os métodos mais empregados para realizar o mapeamento de vulnerabilidades de aquíferos são: DRASTIC (Depth to Water, Net Recharge, Aquifer Media, Soil Media, Topography, Impact of Vadose Zone, Hydraulic Conductivity), GOD (Groundwater occurrence, Overlying strata, Depth to groundwater), SINTACS (Integrated System of Information on Hazards and Vulnerabilities of Aquifer Contamination), EPIK (Lithology, Hydrology, Topography, Land use, Impact, Protection) *etc.* O método GOD possui algumas vantagens frente aos outros métodos, pela não necessidade de elevada gama de dados para se obter um diagnóstico de uma área, pela sua agilidade de avaliação de grandes áreas em período reduzido e pela sua eficiência comprovada em diversos trabalhos (Eiras, 2015; Bacaro, 2015; Oliveira, 2017; Favaretto *et al.*, 2020; Kemerich *et al.*, 2020; Santos; Brito; Silva, 2020; Schmidt, 2020; Silva *et al.*, 2020;



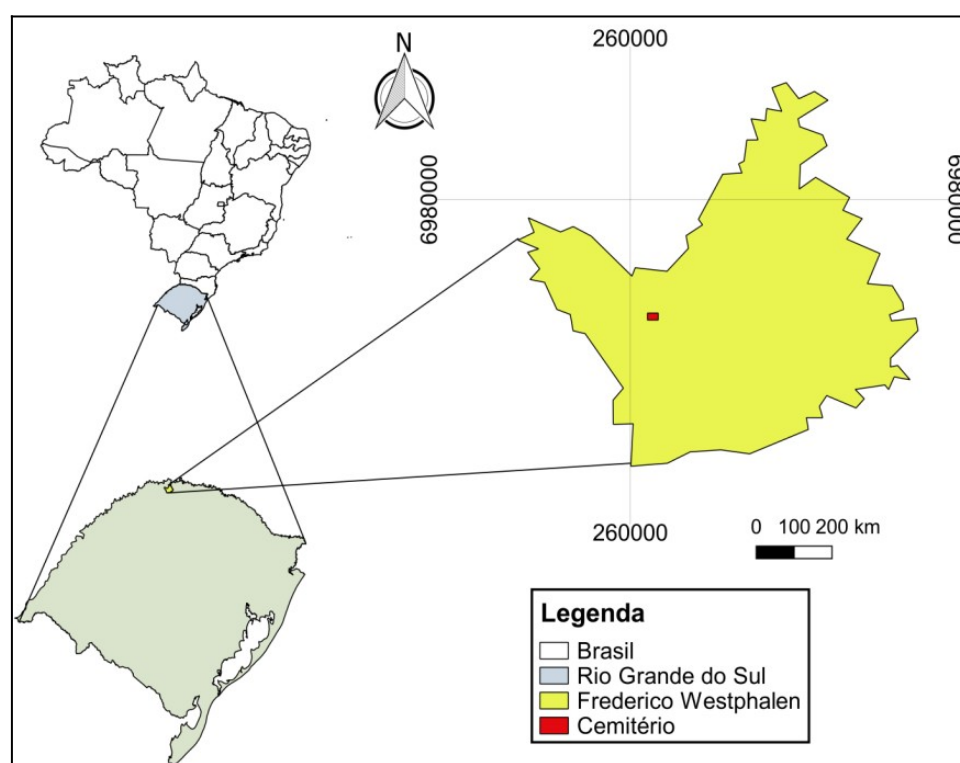
Pereira *et al.*, 2021). Sendo assim, este trabalho teve o objetivo de realizar o diagnóstico de vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas do entorno do Cemitério Municipal e da região de Frederico Westphalen - RS, por meio da aplicação do método GOD.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Frederico Westphalen está localizado a uma distância aproximada de 420 km da capital do Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (Figura 1). Geograficamente, o local está situado no planalto meridional norte do Estado, possui área territorial estimada em cerca de 264 km² e população de 32.627 habitantes (IBGE, 2022).

Figura 1 - Mapa de localização do município de Frederico Westphalen - RS e do Cemitério Municipal.



*Datum: SIRGAS 2000/UTM Zona 22 S.

Fonte: Elaborada pelos autores.

A pedologia municipal é composta basicamente por solos do tipo Latossolo Vermelho Aluminíferico e Neossolo Litólico Eutrófico, que geralmente, na região, apresentam espessura de baixa a média (Embrapa, 1999). De acordo com Silva e Trevisan (2019), 29,95% do solo municipal é coberto por vegetação arbórea, 66,87%, por vegetação rasteira, 2,56%, corresponde às áreas urbanas, 0,44%, aos recursos hídricos superficiais e 0,18%, são classificados como solo exposto.



2.2. COLETA E TRATAMENTO DE DADOS

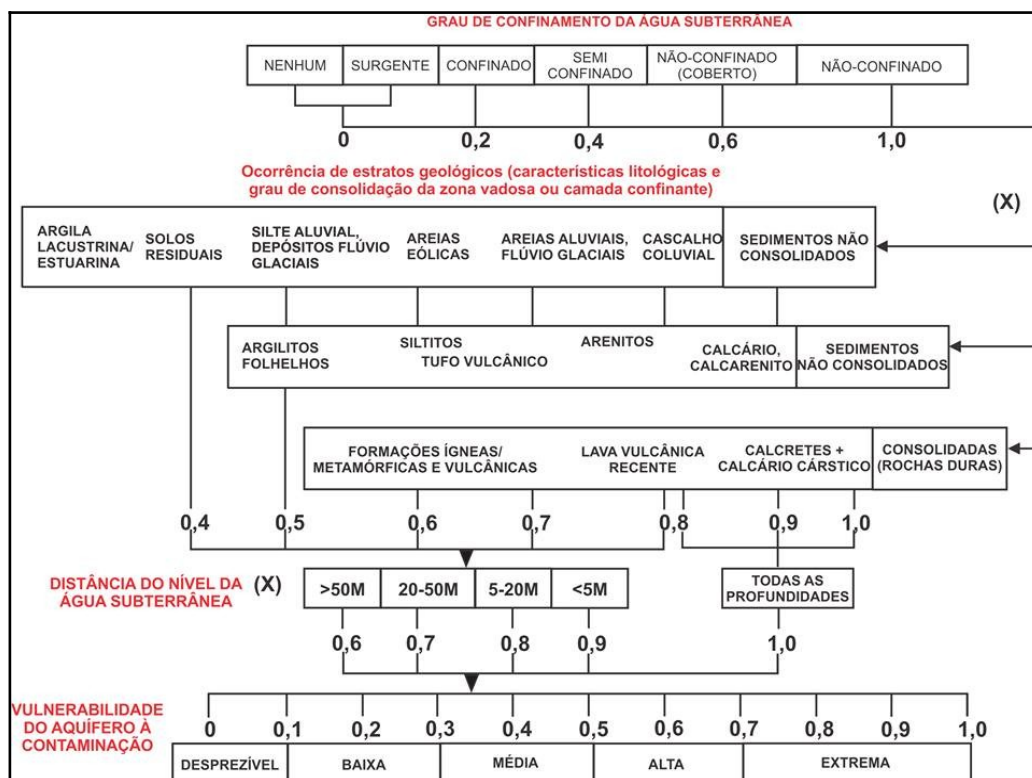
Inicialmente foi realizada uma revisão de literatura para caracterização da área de estudo, com abordagem dos seguintes aspectos fisiográficos: hidrologia, geologia e pedologia. Os dados dos poços tubulares cadastrados no município foram coletados diretamente na plataforma do SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas, por meio do endereço eletrônico: http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php.

Para tratamento dos dados foi utilizado o *software* Quantum Gis 2.18 Essen, programa gratuito, que foi empregado para espacialização e elaboração dos mapas contendo os resultados. O método de interpolação espacial aplicado foi o IDW - Inverso do Quadrado da Distância (do inglês, *Inverse Distance Weighting*), que segundo Chen *et al.* (2012) e Sajid *et al.* (2013), apresenta exatidão e consistência para descrever com precisão dados espaciais.

2.3. APLICAÇÃO DO MÉTODO GOD

O método GOD, apresentado no diagrama da Figura 2, proposto por Foster *et al.* (2006), foi empregado para avaliar a vulnerabilidade das águas subterrâneas. Para o grau de confinamento da água subterrânea (G) o diagrama apresenta escala de 0 a 1, enquanto para ocorrência de estratos geológicos (O), adota escala de 0,4 a 1 e para distância do nível da água subterrânea (D), a escala varia de 0,6 a 1.

Figura 2 - Diagrama utilizado para aplicação do método GOD.



Fonte: Adaptado de Foster *et al.* (2006).



Referente à variável G, na região analisada foi encontrado dois tipos de aquíferos: confinado e não confinado, que receberam peso de 0,2 e 1, respectivamente. Para a variável O foram analisadas as características litológicas e grau de consolidação da zona vadosa ou camada confinante, que recebeu pontuação em função do tipo de formação (Tabela 1). Por fim para variável D, seguiu-se a interpretação correspondente ao diagrama da Figura 2.

Tabela 1 - Definição dos valores atribuídos pelo método GOD ao grau de confinamento, com referência ao tipo de ocorrência de estratos.

Tipo de formação	Valor atribuído
Solo argiloso	0,5
Solo + rocha	0,7
Solo arenoso	0,7
Basalto	0,7
Solo argiloso + rocha	0,7
Solo inconsolidado	0,7

Fonte: Elaborada pelos autores.

Após a definição dos valores dos atributos, foi calculado o produto destas variáveis, que gerou um valor final entre 0 e 1. A vulnerabilidade de cada poço de captação de água subterrânea à contaminação foi determinada pela correspondência entre o valor numérico encontrado e sua classe de significância (variando de desprezível ou insignificante à de extrema significância), como mostrado na Tabela 2, que destaca as características de cada categoria.

Tabela 2 - Classificação de vulnerabilidade de um aquífero de acordo com sua significância, conforme aplicação do método GOD.

Intervalo	Classe	Características
0,0 - 0,1	Insignificante	Desconsidera as camadas confinantes com fluxo vertical descendente não significativo
0,1 - 0,3	Baixa	Vulnerável a contaminantes conservativos em longo prazo, quando persistir seu lançamento
0,3 - 0,5	Média	Vulnerável a alguns poluentes, mas somente quando continuamente lançado
0,5 - 0,7	Alta	Vulnerável a muitos poluentes, exceto os que apresentam mobilidade e persistência muito baixa
0,7 - 1,0	Extrema	Vulnerável a muitos poluentes, com rápido impacto em muitos cenários de contaminação

Fonte: Elaborada pelos autores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. INFORMAÇÕES GERAIS SOBRE OS POÇOS CADASTRADOS NO SIAGAS

No banco de dados do SIAGAS constavam 72 poços tubulares registrados, dos quais 3 poços foram fechados e 9 foram abandonados/desativados. Portanto, em relação percentual, mais de 16% dos poços registrados no SIAGAS não estão em uso ativo. É importante destacar que poços mal construídos ou sem manutenção: poços



abandonados ou que apresentam fissuras, corrosão ou mal tamponamento podem resultar na contaminação das águas, por facilitar o acesso de substâncias estranhas diretamente ao reservatório subterrâneo (Feriani, 2023; Cetesb, 2024).

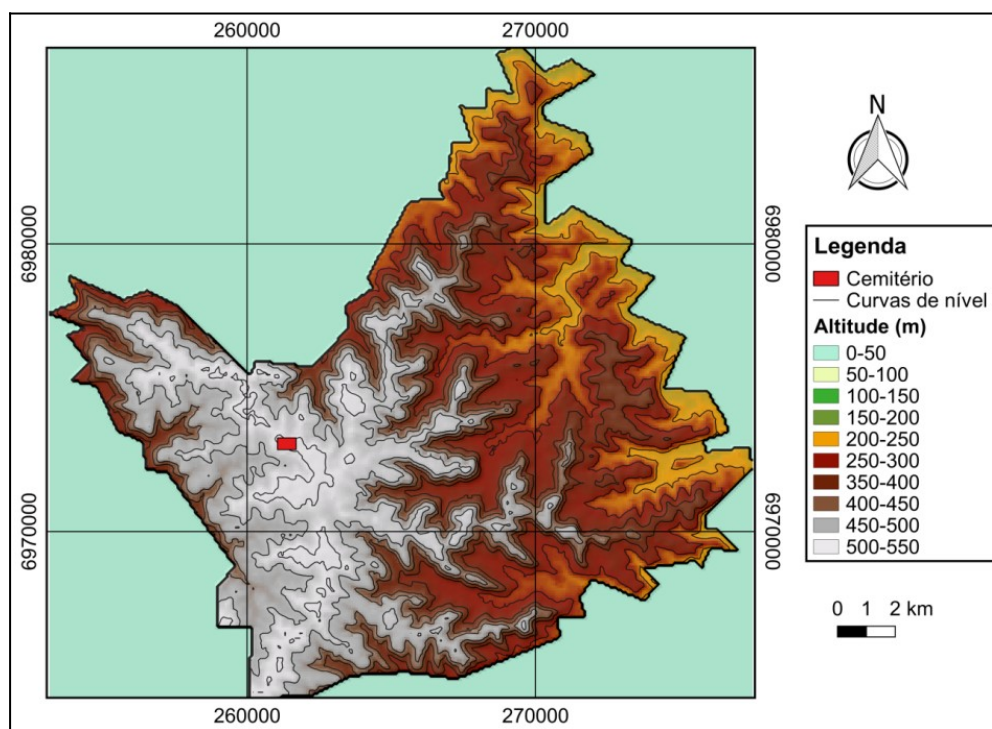
Apenas 10% dos poços possuem vazão específica maior que 5 m³/h/m, tendo um único poço com pico de vazão específica de água captada em 22,03 m³/h/m. Vale ressaltar que o maior volume de água captada por poços tubulares é localizado na área urbana, sendo responsável pela exploração deste recurso, a empresa CORSAN – Companhia Riograndense de Saneamento, que distribui água tratada no município. De acordo com Favaretto *et al.* (2020), as baixas vazões relativas dos poços analisados são decorrentes da geologia regional, que apresenta litologias que não favorecem altas taxas de recarga. Os autores afirmam que, provavelmente, a recarga ocorre apenas através das fraturas e fissuras das rochas.

Do total de poços ativos (60), cerca de 96% são utilizados como fonte de abastecimento humano, 2% para abastecimento industrial e 2% para usos múltiplos. Estes dados sinalizam a importância dos recursos hídricos subterrâneos para a região estudada.

3.2. ANÁLISE DO RELEVO MUNICIPAL

O relevo da área do Cemitério Municipal e seu entorno possui altitudes que oscilam em torno de 500 e 550 metros (Figura 3), sendo considerado, relativamente plano.

Figura 3 – Modelo Digital de Elevação do Terreno do município de Frederico Westphalen - RS.



*Datum: SIRGAS 2000/UTM Zona 22 S.

Fonte: Modificado de Miranda (2005).



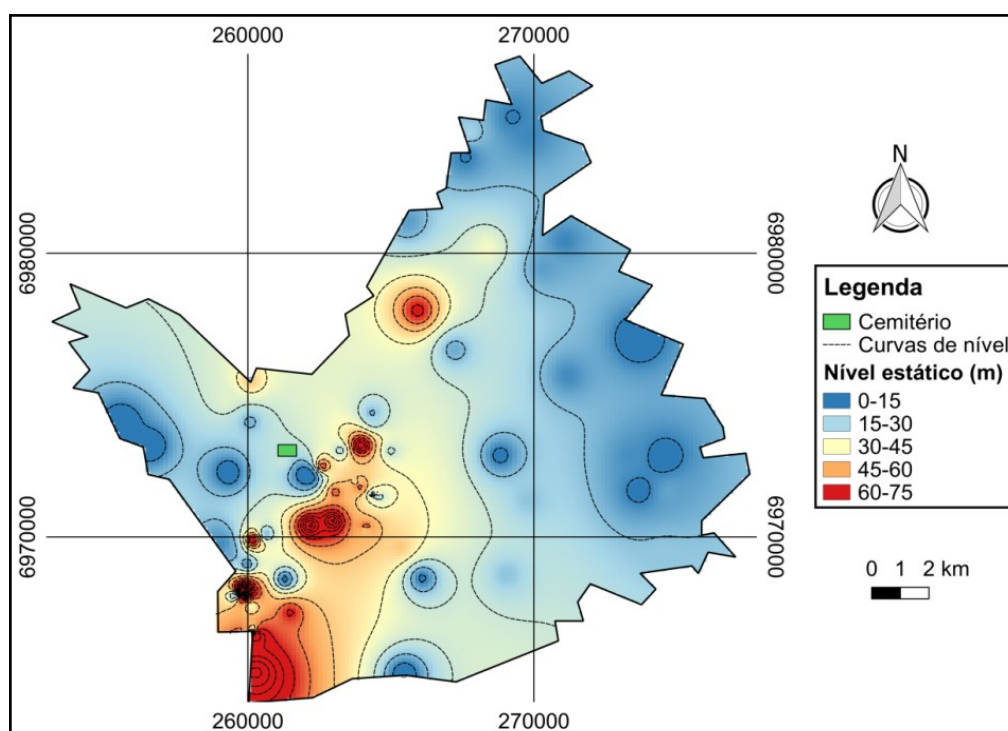
É perceptível que a área do cemitério se situa na porção mais elevada do relevo. As cotas decaem substancialmente à medida que se aproximam do limite leste do município, alcançando uma diferença relativa entre o ponto mais alto (550m) e o mais baixo do relevo (250m) de aproximadamente 300 metros. Baseado nesses dados o relevo do município em questão é classificado como declivoso.

Quanto menor for a taxa de recarga do aquífero, menor será sua capacidade de dissolução dos contaminantes e de dispersão em subsuperfície, dificultando ou retardando que fontes de potenciais de contaminação possam atingir os reservatórios subterrâneos. Por outro lado, áreas com baixa declividade, praticamente planas, tendem a ter baixa taxa de escoamento e maior taxa de água das chuvas infiltra e percola no subsolo, levando consigo as cargas poluentes presentes em níveis mais próximos à superfície do terreno (Veríssimo, 2010).

3.3. MAPEAMENTO E ANÁLISE DO NÍVEL ESTÁTICO

Na Figura 4, é possível identificar uma maior concentração de níveis estáticos mais profundos na região sudoeste e centro-oeste do município. Estas regiões são caracterizadas por altos topográficos, com cotas que variam entre 400 e 550 metros, conforme mostrado na Figura 3.

Figura 4 – Mapeamento do nível estático do aquífero presente em Frederico Westphalen – RS.



*Datum: SIRGAS 2000/UTM Zona 22 S.

Fonte: Elaborada pelos autores.

É evidente a relação de que nas cotas de níveis estáticos menores, concentrados principalmente nos limites leste e nordeste de Frederico Westphalen, a profundidade do nível estático decai bastante e atinge um mínimo entre 0 e 15 metros, sinalizando



maior proximidade do aquífero com a superfície do terreno e maior susceptibilidade à contaminação, uma vez que os contaminantes tendem a atingir mais facilmente o nível freático. Tal fato é comprovado pelos trabalhos de Rodrigues e Pacheco (2010) e Favaretto *et al.* (2020), que salientam que a contaminação das águas subterrâneas é mais evidente em locais que apresentam nível raso e aflorante. Porém, outra possibilidade deve ser considerada, que somente o monitoramento na boca dos poços pode afirmar, se os poços de cotas mais baixas são susceptíveis à contaminação ou apresentam surgência de águas subterrâneas. No segundo caso, é descartada qualquer hipótese de contaminação.

Próximo ao Cemitério Municipal foram encontrados pontos em que o nível estático do aquífero se localiza muito próximo à superfície. Nesse caso, se não foram consideradas as medidas de proteção durante a instalação do cemitério, estabelecidas pelo licenciamento ambiental, este empreendimento pode liberar resíduos/necrochorume para o solo. Sendo que este contaminante pode facilmente alcançar o nível estático do Sistema Aquífero Serra Geral, uma vez que seus constituintes possuem elevada mobilidade em contato com água e as plumas de contaminação podem percorrer distâncias quilométricas (Fineza, 2008). Ainda, Rodrigues e Pacheco (2010) ressaltam que os cemitérios instalados em ambientes com rochas fraturadas apresentam maior potencial de contaminação do meio físico. Portanto, o Cemitério Municipal apresenta risco potencial de contaminação às águas subterrâneas.

3.4. MAPEAMENTO E ANÁLISE DA PROFUNDIDADE DO SOLO

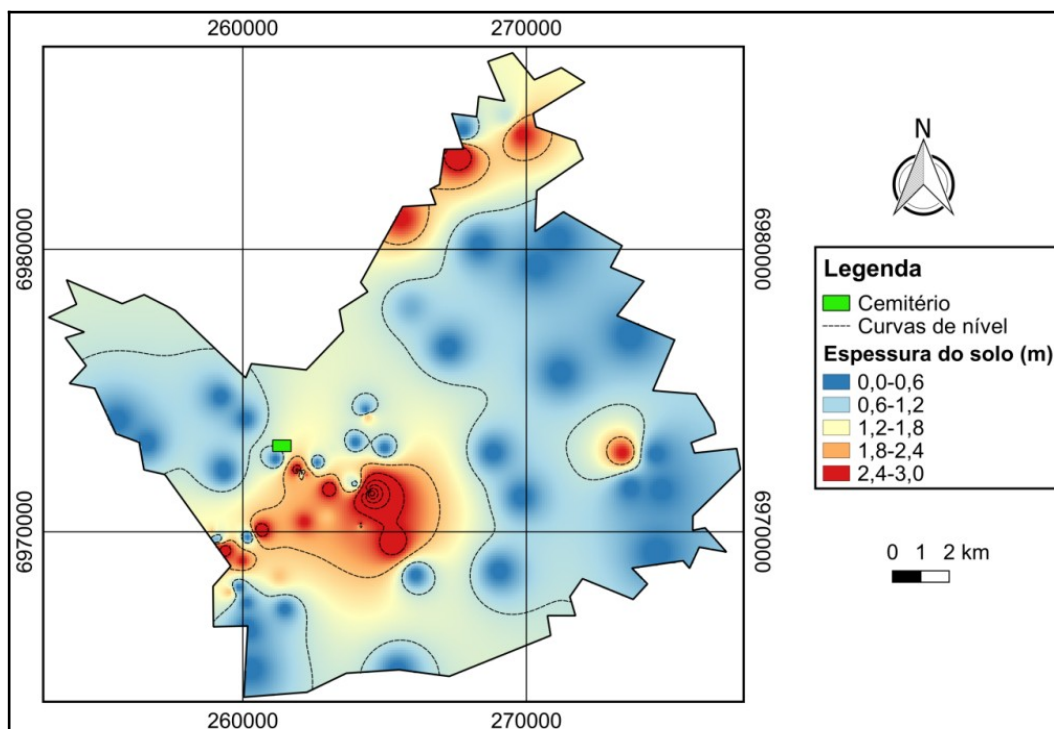
A profundidade do solo variou de poucos centímetros a 3 metros na região estudada (Figura 5). Estas características são definidas pelo relevo acentuado, onde nas zonas mais planas, como o planalto em que está situado o Cemitério Municipal e a zona urbana da cidade de Frederico Westphalen, são encontrados solos com espessura de aproximadamente 3 metros.

A nordeste e a sudeste, o terreno também apresenta solo com profundidade aproximada de 3 metros, provavelmente relacionada às bacias de deposição de materiais consolidados e não consolidados transportados das zonas mais altas, para as mais baixas. Principalmente, a leste do Cemitério Municipal, é encontrado um solo relativamente raso, categorizado pela EMBRAPA (1999) como Neossolo Litólico Eutrófico. Esta classe pedológica apresenta dificuldade de penetração das raízes de espécies vegetais de grande porte. É um tipo de solo que é localizado em regiões com baixa declividade e favorece o acesso de contaminantes ao aquífero, pelo solo e pelas fraturas das rochas.

Especificamente, nas regiões com maior contraste de declividade topográfica, há maior escoamento das águas pluviais e menor recarga do aquífero, minimizando a possibilidade de mobilidade do contaminante ao aquífero. Porém, em áreas mais planas, tal como o planalto em que se localiza o Cemitério Municipal e área urbana, (local que apresenta outras fontes potenciais de contaminação, como por exemplo, os postos de combustíveis e lagoas de tratamento de efluentes) apesar do solo apresentar espessura maior em comparação com outros pontos, são as regiões que se encontram mais suscetíveis à contaminação.



Figura 5 – Mapeamento da profundidade do solo de Frederico Westphalen – RS.



*Datum: SIRGAS 2000/UTM Zona 22 S.

Fonte: Elaborada pelos autores.

De acordo com Kemerich *et al.* (2020), determinados tipos de solo, devido às suas características intrínsecas conseguem reduzir compostos complexos em simples e assim amenizar o potencial da carga poluidora. Porém, na região de forma geral, o solo é pouco espesso e possui baixa capacidade de redução e/ou retenção de compostos ou substâncias, permitindo a percolação de contaminantes para as águas subterrâneas, que segundo Manuel Filho *et al.* (2008), apresentam baixa velocidade de circulação e retardam a percepção clara de uma contaminação.

3.5. CLASSIFICAÇÃO DE VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE FREDERICO WESTPHALEN – RS

Para estimativa do índice de vulnerabilidade pela aplicação do método GOD, do total de poços tubulares cadastrados (72) no banco de dados do SIAGAS, foram descartados 12 poços, que não continham informações que possibilitassem a sua classificação com este método, sendo estes, os poços fechados e abandonados. Portanto, nesse estudo foram considerados 60 poços.

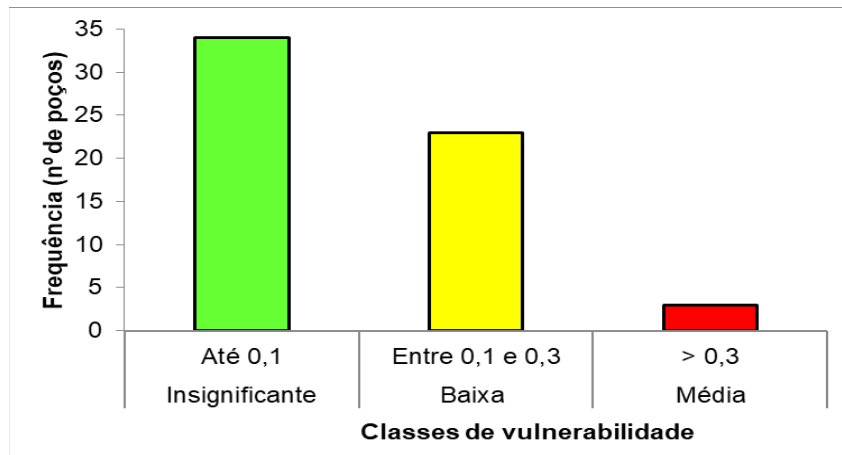
A partir da definição dos valores de cada atributo foi calculado o produto e gerado um índice que correspondeu a uma classe de vulnerabilidade. A distribuição de frequência dos poços considerados e as classes de susceptibilidade à contaminação são apresentados na Figura 6, onde as cores das barras do gráfico fazem correspondência às cores utilizadas na elaboração do mapa modelo de vulnerabilidade final (Figura 7).

Conforme apresentado na Figura 6, a maioria dos poços (34) cadastrados no SIAGAS foi enquadrado na classe de vulnerabilidade insignificante, que correspondeu a 55,6%



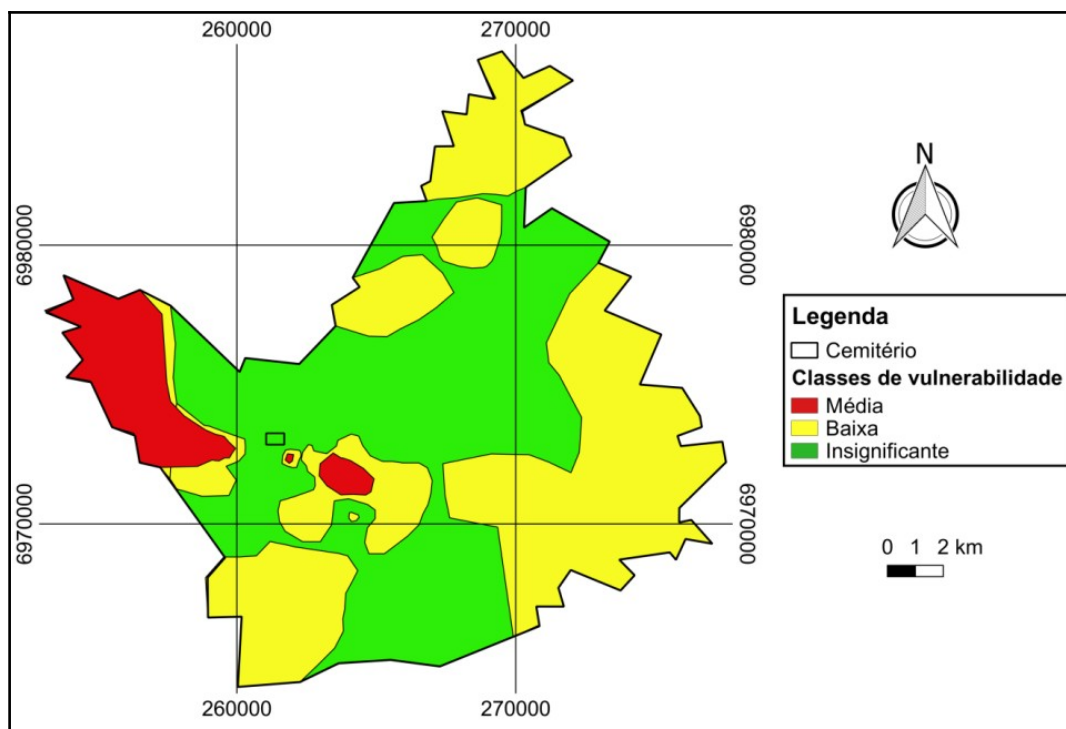
da amostra. Enquanto isso, a classe de baixa vulnerabilidade (23 poços) apresentou índice de 38,3% e a classe de média vulnerabilidade (3 poços) correspondeu a 6,1% da amostra total do número de poços.

Figura 6 - Gráfico de frequência dos poços considerados e sua classificação de vulnerabilidade.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 7 - Modelo de vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas do município de Frederico Westphalen/RS.



*Datum: SIRGAS 2000/UTM Zona 22 S.

Fonte: Elaborada pelos autores.

O modelo desenvolvido pelo presente estudo destacou que a vulnerabilidade média foi encontrada em áreas próximas ao Cemitério Municipal e principalmente na área urbana e na porção noroeste do município. A comparação da classificação de



vulnerabilidade deste trabalho com o de Borba *et al.* (2015) é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Comparação do presente trabalho com o modelo desenvolvido por Borba *et al.* (2015).

Classe de vulnerabilidade	Borba <i>et al.</i> (2015)		Presente trabalho	
	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²)	Área (%)
Insignificante	177,06	65,07	139,06	52,67
Baixa	85,95	34,56	106,7	40,42
Média	0,99	0,37	18,24	6,91
Total	264	100	264	100

Fonte: Elaborada pelos autores.

Entre os modelos foram notadas algumas semelhanças, entre as quais: a maior parte da área do município foi enquadrada na classificação de vulnerabilidade insignificante e baixa; na área urbana foi destacada classe de vulnerabilidade média; e, os dois modelos não classificaram a área do cemitério e seu entorno com uma classe de vulnerabilidade significativa.

Porém, entre os dois trabalhos há discordâncias de interpretação em alguns pontos, tais como: a área total com classificação de vulnerabilidade baixa proposta pelo presente estudo representa 40,42% (106,7 km²) da área total (264 km²), em contrapartida, o trabalho de Borba *et al.* (2015) considerou uma área menor, com 34,56% (85,95 km²) da área total; a área destacada com classe de vulnerabilidade média neste estudo corresponde a 6,91% (18,24 km²) da área total, enquanto o outro trabalho destacou 0,37% (0,99 km²); a região demarcada com classificação insignificante foi de 52,67% (139,06 km²), que é relativamente menor quando comparado com o outro trabalho, que destacou nessa classe, 65,07% (177,06 km²) da área total; a sudoeste, os resultados do presentes estudo destacaram uma região com vulnerabilidade baixa, enquanto o outro estudo classificou como insignificante; e a noroeste, o modelo de Borba *et al.* (2015) classificou a região com vulnerabilidade insignificante e este trabalho como baixa e média.

Vários fatores podem explicar a disparidade de resultados entre os trabalhos, tais como: a falta de informação de alguns poços cadastrados pelo SIAGAS, por exemplo, Borba *et al.* (2015) utilizaram dados de 54 poços, enquanto o presente trabalho abordou dados de 60 poços. A diferença do tamanho da amostra interfere no processo de interpolação dos dados e gera modelos com resultados distintos; os dados disponíveis na Plataforma SIAGAS são atualizados periodicamente, o que provavelmente resultou no uso de diferentes informações pelos dois estudos; além disso, algumas informações do banco de dados do SIAGAS podem apresentar ambiguidade na interpretação.

Na escolha por um modelo final a ser utilizado para tomada de medidas preventivas à proteção ambiental, especificamente em relação aos recursos hídricos subterrâneos do município de Frederico Westphalen - RS, o modelo desenvolvido pelo presente estudo pode ser utilizado em referência a complementar o outro trabalho



desenvolvido, pois destacou classes de vulnerabilidade mais preocupantes e quando se tem um controle da pior situação, as demais situações são asseguradas.

Por fim, cabe lembrar que o substrato geológico regional apresenta boas características naturais para suportar as pressões impostas pelas atividades humanas, tendo em vista que a formação basáltica cria condições de confinamento do aquífero (CPRM, 1997). Porém, é necessário realizar atividades de controle e monitoramento, principalmente na região central do município, que concentra diversas fontes com elevado potencial de poluição e contaminação do meio físico.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O diagnóstico de vulnerabilidade das águas subterrâneas do Município de Frederico Westphalen, realizado com base no método GOD, revelou que a maior parte da área territorial é classificada com vulnerabilidade insignificante, seguida pelas classes de baixa e média vulnerabilidade. A classe de média vulnerabilidade concentra-se principalmente na zona urbana, em locais próximos ao Cemitério Municipal e na porção noroeste do município. Especificamente, o cemitério está situado em uma área classificada com vulnerabilidade de insignificante a baixa. A área urbana, classificada como de média vulnerabilidade, apresenta tal condição devido às características pedológicas e hidrogeológicas locais, bem como às atividades econômicas concentradas na região.

De forma geral, os resultados obtidos fornecem um panorama detalhado da vulnerabilidade das águas subterrâneas da região estudada. Essa informação é crucial para orientar políticas públicas e ações de gestão ambiental voltadas para a proteção e preservação desse recurso hídrico. Ao identificar áreas de maior vulnerabilidade, é possível direcionar esforços para mitigar os riscos de contaminação. Além disso, a utilização do método GOD e da plataforma SIAGAS demonstra a viabilidade de ferramentas de baixo custo e acessíveis para a realização de estudos de grande abrangência, destacando a importância da aplicação de técnicas eficazes na gestão sustentável dos recursos hídricos. Em suma, os resultados deste estudo contribuem significativamente para a tomada de decisões e o desenvolvimento de estratégias que visam proteger a qualidade e a sustentabilidade das águas subterrâneas.

5. REFERÊNCIAS

ANA. **Fatos e Tendências**: água. 2. ed. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2009.

BACARO, F. **Vulnerabilidade natural e risco à contaminação do aquífero livre da área urbana de Rio Claro-SP**. 2015. 68 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2015.

BORBA, W. F. *et al.* Utilização de água subterrânea em Frederico Westphalen-RS: condições socioambientais dos usuários. **Revista Monografias Ambientais**, v. 13, n. 1, p. 2928-2935, 2014.



BORBA, W. F. *et al.* 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**, v. 39, n. 3, p. 79-88, 2016.

BRASIL. **Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio DE 2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Ministério da Saúde, 2021.

CETESB. **Águas subterrâneas**: importância. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, fev. 2020. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/>. Acesso em: 12 abr. 2020.

CETESB. **Poliuição das águas subterrâneas**. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2024. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/poluicao-das-aguas-subterraneas/#:~:text=Outra%20forma%20de%20polui%C3%A7%C3%A3o%20das,atinjam%20diretamente%20as%20%C3%A1guas%20subterr%C3%A2neas>. Acesso em: 29 mar. 2024.

CHEN, F. W.; LIU, C. W. Estimation of the spatial rainfall distribution using inverse distance weighting (IDW) in the middle of Taiwan. **Paddy and Water Environment**, v. 10, n. 3, p. 209-222, 2012.

CPRM. **Modificado do Mapa Geológico do Rio Grande do Sul, escala 1:750.000**. Produto derivado do Projeto Geologia do Brasil ao Milionésimo – Programa Geologia do Brasil. Ministério de Minas e Energia. Brasília: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2007.

EIRAS, M. M. **Risco de contaminação de mananciais superficiais e do Sistema Aquífero Serra Geral por aterros na região metropolitana de Londrina - PR**. 2015. 104 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2015.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999.

FAVARETTO, J. R. *et al.* Estimativa da susceptibilidade à contaminação do sistema aquífero serra geral em Aratiba-RS por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 72, n. 1, p. 1-18, 2020.

FEITOSA, F. A. C. *et al.* **Hidrogeologia**: conceitos e aplicações. 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM/LABHID, 2008.

FERIANI, R. **Captação de água subterrânea**: conceito e legislação. Jundiá: Amblegis, 2023. Disponível em: <https://amblegis.com.br/meio-ambiente/captacao-de-agua-subterranea-conceito-e-legislacao/>. Acesso em: 29 mar. 2024.

FERNANDES, G. D. *et al.* Estimativa da vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero em escala municipal: estudo de caso em Panambi/RS. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 6, n. 2, p. 126-132, 2020.

FIEDLER, S. *et al.* Graveyards – Special landfills. **Science of The Total Environment**, v. 419, p. 90-97, mar. 2012.



FINEZA, A. G. **Avaliação da contaminação de águas subterrâneas por cemitérios: estudo de caso de Tabuleiro - MG.** 2008. 54 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

FOSTER, S. *et al.* **Protección de la calidad del agua subterránea:** guia para empresas de água, autoridades municipales y agencias ambientales. Washington: Banco Mundial, 2003.

FOSTER, S. *et al.* **Proteção da qualidade da água subterrânea:** um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. São Paulo: Banco Mundial, 2006.

FREEZE, A. R.; CHERRY, J. A. **Groundwater.** Tradução de Everton de Oliveira (Coord.). São Paulo: Everton de Oliveira, 2017.

HAUSMAN, A. Esboço hidrogeológico do Rio Grande do Sul. **Acta Geologica Leopoldensia**, p. 37-71, 1995.

HIRATA, R. *et al.* **A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil:** uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2019.

IBGE. **Censo populacional de 2022:** Frederico Westphalen. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022.

KEMERICH, P. D. C.; UCKER, F. E.; BORBA, W. F. Cemitérios como fonte de contaminação ambiental. **Revista Scientific American Brasil**, v. 1, p. 78-81, 2012a.

KEMERICH, P. D. C. *et al.* Influência dos cemitérios na contaminação da água subterrânea em Santa Maria - RS. **Revista Águas Subterrâneas (São Paulo)**, v. 24, p. 129-141, 2010.

KEMERICH, P. D. C. *et al.* Variação espacial da qualidade da água subterrânea em área ocupada por cemitério tipo parque jardim. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 9, n. 3, 2012b.

KEMERICH, P. D. C. *et al.* Análise da vulnerabilidade natural à contaminação da água subterrânea: comparativo entre a metodologia GOD e DRASTIC. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 6, n.2, p. 45-53, 2020.

MACHADO, J. L. F. **Compartimentação espacial e arcabouço hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul.** 2005. 237 f. Tese (Programa de Pós-graduação em Geologia) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2005.

MANCUSO, M. A.; SCHROEDER, J. K., SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Análise dos teores de Flúor nas águas de abastecimento público nos municípios localizados sobre o Aquífero Serra Geral. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: ABRH, 2013.



MANOEL FILHO, J. Contaminação das águas subterrâneas. In: FEITOSA, F. A. C. *et al.* (Org.). **Hidrogeologia**: conceitos e aplicações. 3 ed. Rio de Janeiro: CPRM/LABHID, 2008. p. 381-402.

MIRANDA, E. E. **Brasil em relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 27 nov. 2016.

OLIVEIRA, B. A. **Avaliação de vulnerabilidade e perigo à contaminação das águas subterrâneas do município de Caçapava do Sul - RS**. 2017. 67 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2017.

OLIVEIRA, T. M. G *et al.* Sistemas subterrâneos para abastecimento de água em um contexto de segurança hídrica e vulnerabilidade à contaminação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 25., 2023, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Centro de Convenções AM Malls, 2023.

PEREIRA, A. S.; CECCONELLO, S. T.; CENTENO, L. N. Mapeamento da vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas do município de Herval/RS. **Revista Thema**, v. 19, n. 2, p. 179-191, 2021.

RODRIGUES, L.; PACHECO, A. Groundwater contamination from cemeteries cases of study. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ENVIRONMENT, 2010. **Anais...** 2010.

SAJID, A. H.; RUDRA, R. P.; PARKIN, G. Systematic evaluation of kriging and inverse distance weighting methods for spatial analysis of soil bulk density. **Canadian Biosystems Engineering**, v. 5, p. 1-13, 2013.

SANTOS, A. G. S. **Qualidade da água subterrânea utilizada para consumo humano no entorno do cemitério do campo Santo em Salvador/BA**. 2014. 178 f. Dissertação (Mestrado em Saúde, Ambiente e Trabalho) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

SANTOS, A. C.; REIS, A.; MENDIONDO, E. M. Segurança hídrica no Brasil: situação atual, principais desafios e perspectivas futuras. **Revista DAE**, v. 68, p. 167-179, 2020.

SANTOS, I. M. M.; BRITO, A. P. M.; SILVA, R. I. M. Utilização do método GOD para análise da vulnerabilidade natural de águas subterrâneas na comunidade de Xavier e seu entorno em Camocim/CE. **Revista Homem, Espaço e Tempo**, p. 145-163, 2020.

SCHMIDT, B. Z. **Comparação entre as metodologias GOD, DRASTIC, AVI e AVI Reclassificado na estimativa da vulnerabilidade das águas subterrâneas na Bacia Hidrográfica Urbana do Ribeirão dos Couros-Diadema/SP, Brasil**. 2020. 62 f. Monografia (Graduação em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de São Paulo, Diadema, 2020.

SILVA, F. C. **Avaliação de metais potencialmente tóxicos em zona não saturada da necrópole Nossa Senhora Aparecida, Piedade, SP**. 2018. 249 f. Tese (Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais) - Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2018.



SILVA, A. C. G.; TREVISAN, G. M. Comparação da classificação de ocupação do solo do município de Frederico Westphalen-RS, utilizando os métodos Isodata e Distância mínima. **Nativa**, v. 7, n. 6, p. 727-733, 2019.

SILVA, J. M.; MELO, J. G.; DINIZ FILHO, J. B. Mapeamento da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Barreiras na Bacia no Rio Pirangi/RN utilizando os Métodos GOD, DRASTIC e IS. **Águas Subterrâneas**, v. 34, n. 1, p. 1-17, 2020.

THE WORLD BANK. **Recovering Water**: a results-based approach to water supply and sanitation in Brazil's São Paulo state. Washington: The World Bank, 2018. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/results/2018/05/07/approach-to-water-supply-and-sanitation-brazil-sao-paulo-state>. Acesso em: mar. 2024.

UN. **Water and Climate Change**. Geneva: United Nations. Disponível em: <https://www.unwater.org/water-facts/water-and-climate-change>. Acesso em: 20 mar. 2024.

VEIGA, L. B. E.; MAGRINI, A. The brazilian water resources management policy: fifteen years of success and challenges. **Water Resources Management**, v. 27, n. 7, p. 2287-2302, 2013.

VERÍSSIMO, A. C. F. **Hidroquímica, vulnerabilidade e proteção do aquífero de Torres Vedras**. 2010. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geológica) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2010.

XAVIER, F. V. **Métodos geométricos aplicados ao diagnóstico ambiental subsuperficial do Cemitério Municipal de Rio Claro, SP**. 2015. 158 f. Tese (Programa de Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2015.

Submetido em: **11/07/2021**

Aceito em: **13/08/2024**