

CAPÍTULO 3

AVALIAÇÃO DO PERIGO DE CONTAMINAÇÃO DOS AQUÍFEROS PRÓXIMOS AOS CEMITÉRIOS DE TERESINA, PIAUÍ

Data de submissão: 21/09/2024

Data de aceite: 01/10/2024

Girleiane Santos de Sá

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – IFPI
Teresina – Piauí
<https://lattes.cnpq.br/6778472819095045>

Marco Aurélio da Silva Lira Filho

Especialista em Geoprocessamento no Centro de Geotecnologia Fundiária e Ambiental - CGEO / PIAUÍ
Teresina – Piauí
<http://lattes.cnpq.br/0963634611276600>

Mauro César de Brito Sousa

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – IFPI
Teresina – Piauí
<http://lattes.cnpq.br/2049460389729603>

RESUMO: A contaminação dos aquíferos localizados em áreas densamente urbanizadas é uma preocupação crescente, uma vez que as águas subterrâneas podem ser fontes essenciais de abastecimento de água para diversos usos, incluindo o consumo humano. Este artigo tem como objetivo realizar uma avaliação do perigo de contaminação de aquíferos adjacentes aos cemitérios públicos da cidade de Teresina, Piauí. A metodologia utilizada

para essa avaliação baseia-se em dois métodos amplamente reconhecidos na literatura do gerenciamento de recursos hídricos: o método GOD de vulnerabilidade e o método POSH de análise da carga contaminante. O método GOD, desenvolvido por Foster e Hirata (1988), foi utilizado para avaliar a vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação. No estudo, leva-se em consideração características hidrogeológicas e propriedades do solo para estimar a suscetibilidade dos aquíferos à entrada de contaminantes. Já o método POSH, proposto por Foster et al. (2006), é utilizado para avaliar a carga contaminante presente no subsolo, considerando fatores como a composição química do lixiviado produzido. Para essa avaliação, foram utilizados dados provenientes do mapeamento da vulnerabilidade na cidade de Teresina realizado por Lira Filho, M. A. S. et al. (2023). A partir dessas informações, foi possível identificar o padrão de vulnerabilidade do aquífero na cidade de Teresina e, após caracterização da carga de contaminação das necrópoles locadas na área urbana da cidade, mediante método POSH, procedeu-se a avaliação do perigo de contaminação na área delimitada. Os resultados obtidos indicaram um baixo

perigo de contaminação dos aquíferos, sugerindo que a baixa vulnerabilidade do aquífero configura-se como fator determinante para a obtenção do resultado. No entanto, recomenda-se a realização de estudos adicionais para investigar outros contaminantes potencialmente presentes nos cemitérios, como metais pesados e formaldeído, a fim de uma avaliação mais abrangente dos riscos associados.

PALAVRAS-CHAVE: Contaminação de aquíferos; Águas subterrâneas; GOD; POSH.

ASSESSMENT OF THE CONTAMINATION RISK OF AQUIFERS NEAR CEMETERIES IN TERESINA, PIAUÍ

ABSTRACT: The contamination of aquifers located in densely urbanized areas is a growing concern, as groundwater can be an essential source of water supply for various uses, including human consumption. This article aims to assess the contamination risk of aquifers adjacent to public cemeteries in the city of Teresina, Piauí. The methodology used for this assessment is based on two widely recognized methods in the water resource management literature: the GOD vulnerability method and the POSH contaminant load analysis method. The GOD method, developed by Foster and Hirata (1988), was used to assess the vulnerability of aquifers to contamination. The study considers hydrogeological characteristics and soil properties to estimate the susceptibility of aquifers to contaminant infiltration. The POSH method, proposed by Foster et al. (2006), was employed to assess the contaminant load present in the subsoil, considering factors such as the chemical composition of the leachate produced. For this assessment, data from the vulnerability mapping in the city of Teresina conducted by Lira Filho, M. A. S. et al. (2023) were used. Based on this information, it was possible to identify the aquifer vulnerability pattern in the city of Teresina. After characterizing the contamination load of cemeteries located in the urban area of the city using the POSH method, the contamination risk in the delimited area was assessed. The results indicated a low risk of aquifer contamination, suggesting that the low aquifer vulnerability is a determining factor in achieving this outcome. However, further studies are recommended to investigate other potentially present contaminants, such as heavy metals and formaldehyde, for a more comprehensive risk assessment.

KEYWORDS: Aquifer contamination, Groundwater, GOD, POSH.

1 | INTRODUÇÃO

A contaminação de aquíferos por necrópoles é uma preocupação significativa, especialmente em áreas onde a expansão urbana desordenada contribui para a locação inadequada desses empreendimentos em bacias antropizadas. E, como agravante, é comum que comunidades de baixa renda localizadas nas imediações desses pontos de contaminação latente, inadvertidamente, façam uso de aquíferos rasos para algum tipo de uso doméstico ou consumo humano (Sousa, 2015).

Dessa forma, é essencial avaliar o perigo de contaminação dos aquíferos por necrópoles nessas localidades, como meio de se compreender o potencial impacto ambiental e de saúde pública dessa fonte contaminante. Assim como, é necessário

estabelecer a base de dados necessária para que se implemente medidas adequadas de proteção ambiental com o intuito de conservar os sistemas ambientais e manter suas condições de sustentabilidade.

Segundo Foster et al. (2006) o perigo de contaminação de água subterrânea depende de dois fatores, a carga contaminante que é aplicada ao subsolo como resultado de atividades humanas e a vulnerabilidade do aquífero, resultado das características naturais dos estratos que separam o aquífero da superfície.

Marquezan (2008) cita como principal causa da degradação da qualidade das águas subterrâneas a ação antrópica que deixa um passivo de contaminação no ambiente, como é o caso das substâncias contaminantes geradas pelas necrópoles próximas às águas subterrâneas.

Para entender o tipo de contaminante potencialmente presente em atividades cemiteriais, Sousa (2015) cita que a composição do corpo humano é consistente com os principais poluentes observados em áreas impactadas por cemitérios, com particular destaque para as formas dissolvidas de nitrogênio, indicadores de matéria orgânica e indicadores bacterianos.

E nesse ponto, alertando para a necessidade dessa necessidade dessa pesquisa, Cruz et al. (2017) indica que é considerável a quantidade de cemitérios no Brasil que se encontram em situações de manutenção precárias, o que se torna um fator de preocupação para a população, tendo em vista a vulnerabilidade e riscos em que estão expostas.

Portanto, o presente estudo tem como objetivo avaliar o perigo de contaminação das águas subterrâneas por cemitérios na área urbana da cidade de Teresina, capital do Estado do Piauí.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

A área de estudo abrange os cemitérios localizados na área urbana da cidade de Teresina, capital do estado do Piauí, Brasil. Teresina possui diversos cemitérios distribuídos ao longo de seu território, que atendem às necessidades da população local fornecendo espaços para sepultamentos e rituais de despedida. Entretanto, as necrópoles da cidade foram construídas em um momento em que a legislação ambiental não aferia as condições de instalação e funcionamento desses empreendimentos.

No tocante aos sistemas aquíferos da região de Teresina, estes estão inseridos no contexto lito estrutural da bacia sedimentar do Parnaíba, que compreende uma bacia sedimentar com predominância de coberturas sedimentares da era paleozoica, embora também haja grandes áreas com depósitos da era mesozoica, sendo estes pouco espessos (AGUIAR, 2009).

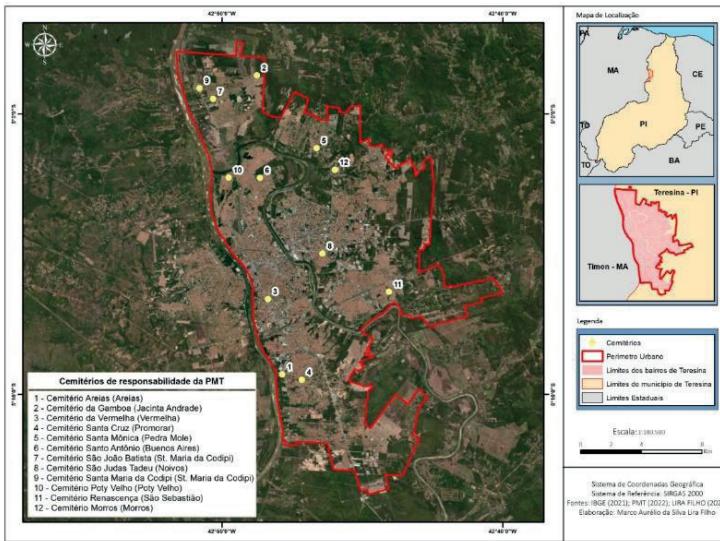


Figura 1: Mapeamento dos cemitérios na área urbana de Teresina.

Fonte: Autores (2024).

Avaliação do perigo de contaminação

A avaliação do perigo de contaminação dos aquíferos próximos aos cemitérios da cidade de Teresina foi realizada utilizando o método proposto por Foster et al. (2006), que pode ser entendida pela sobreposição da identificação da vulnerabilidade do aquífero local pelo método GOD (Foster e Hirata, 1988), com a avaliação da carga contaminante pelos cemitérios, segundo a metodologia POSH (Foster et al., 2006) (FIGURA 2).

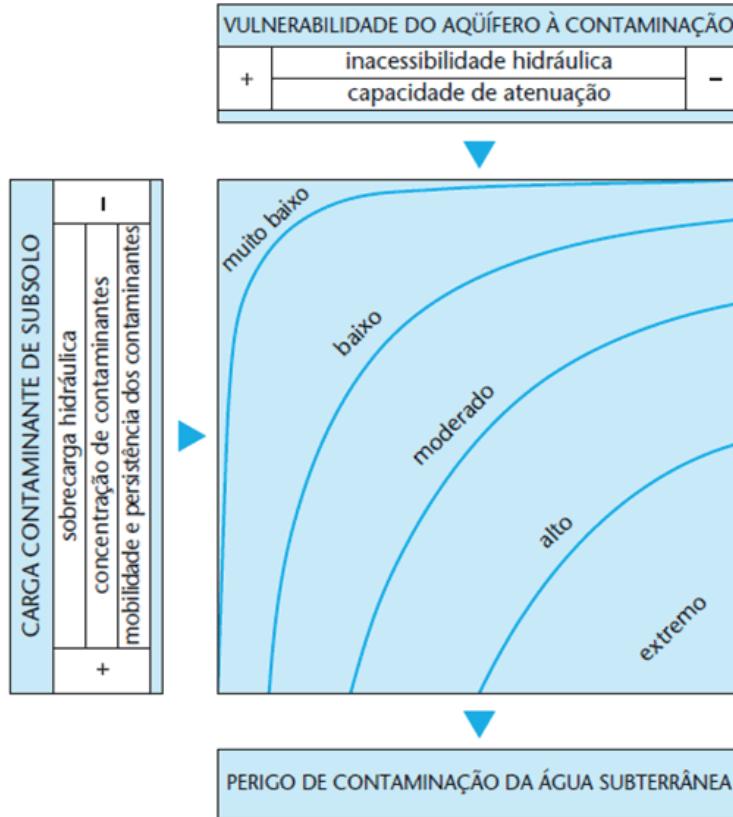


Figura 2: Estimativa do perigo de contaminação do aquífero.

Fonte: Foster et al. (2006)

O produto dessas duas metodologias pode ser avaliado a partir de uma matriz de risco que permite realizar uma análise qualitativa dos parâmetros relevantes da carga contaminante e vulnerabilidade do aquífero, obtendo-se uma pontuação final que indica o grau de perigo de contaminação do sistema em estudo (FIGURA 3).

Essa pontuação pode ser interpretada de acordo com uma escala pré-definida, permitindo classificar as áreas ou situações de acordo com o nível de risco. Com isso, ao fazer a interação entre o tipo de carga contaminante e a vulnerabilidade do aquífero, obtém-se estimativas de perigo de contaminação que variam entre baixo, moderado e alto perigo de contaminação do aquífero.

ZONAS DE VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO À CONTAMINAÇÃO*					
			baixa	média	alta
CARGA CONTAMINANTE POTENCIAL	reduzida	3	3	2	
	moderada	2	2	1	
	elevada	2	1	1	
NÍVEL DE PRIORIDADE					
1 = alto		2 = médio		3 = baixo	

* Número de zonas/áreas reduzidas para simplificar a representação.

Figura 3: Matriz do risco de contaminação de aquíferos.

Fonte: Foster et al. (2006)

Avaliação da vulnerabilidade GOD

A avaliação da vulnerabilidade GOD, conforme proposta por Foster (1987), baseia-se na sobreposição de camadas de informações geográficas, como a permeabilidade do solo, a espessura do aquífero, a recarga de água subterrânea e a profundidade do lençol freático. Cada camada é atribuída a um valor ou classe de vulnerabilidade, que indica o grau de suscetibilidade da área à contaminação.

A sobreposição das camadas permite a criação de um mapa de vulnerabilidade, onde áreas com maior sobreposição de parâmetros de alta vulnerabilidade são identificadas como zonas de maior risco de contaminação.

O método de avaliação da vulnerabilidade GOD (FOSTER; HIRATA, 1988) atende aos requisitos de simplificação do mapeamento da vulnerabilidade ao considerar parâmetros geralmente disponíveis ou facilmente determinados, como o grau de confinamento hidráulico da água subterrânea (caracteriza a letra G da nomenclatura), a ocorrência dos estratos de cobertura da zona vadosa ou camada confinante (caracteriza a letra O da nomenclatura) e a distância até o lençol freático ou teto do aquífero confinado (caracteriza a letra D da nomenclatura).

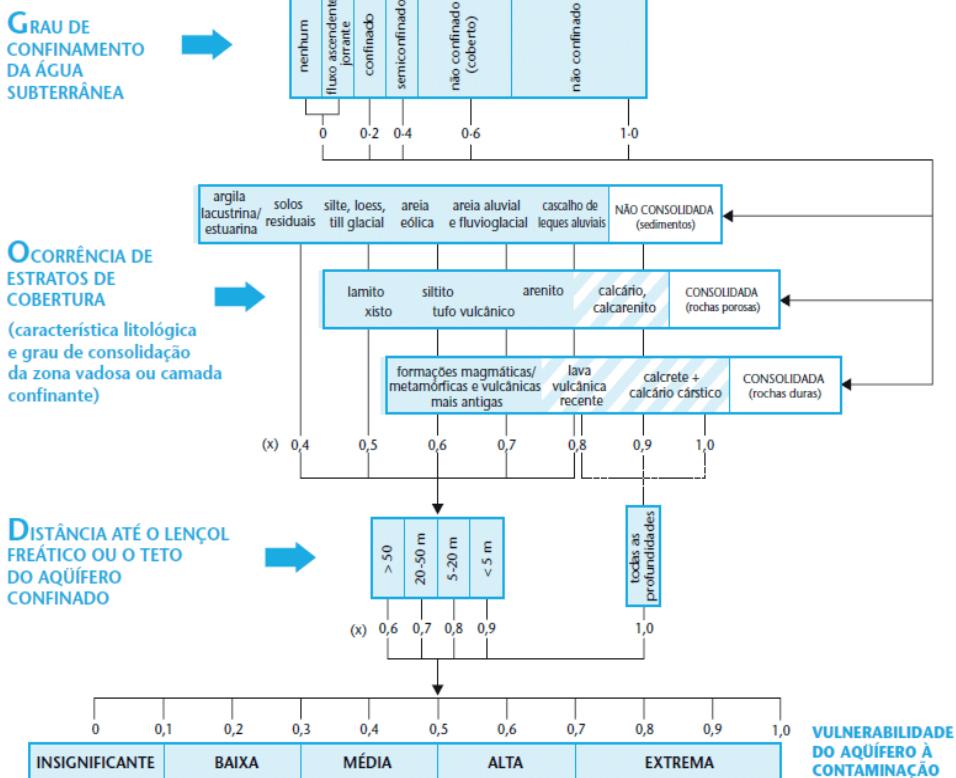


Figura 4: Método de vulnerabilidade de aquíferos GOD.

Fonte: Foster et al. (2006)

Hirata (1994) destaca que o índice baixo indica um aquífero vulnerável somente a compostos extremamente móveis e persistentes, como nitratos e alguns solventes sintéticos. O índice médio indica que o aquífero é suscetível a contaminantes moderadamente móveis e persistentes, como metais pesados. Finalmente, o alto índice indica que o aquífero é muito sensível a contaminantes degradáveis, como bactérias e vírus.

Para a avaliação da vulnerabilidade do aquífero urbano correlacionado ao objeto de estudo dessa pesquisa, foram utilizados os dados do mapeamento da vulnerabilidade na cidade de Teresina realizado no trabalho de dissertação de Lira Filho, M. A. S. et al. (2023).

Análise da carga contaminante POSH

A metodologia de avaliação de atividades potencialmente contaminantes denominada POSH (pollutant origin, surcharge hydraulically) baseia-se na origem do poluente e sua sobrecarga hidráulica na subsuperfície, produzindo três níveis qualitativos de potencial contaminante no subsolo: reduzido, moderado e elevado (FOSTER et al., 2006).

O método POSH sugere que a carga contaminante presente no subsolo devido ao lixiviado de cemitérios é de magnitude reduzida. Isso se deve à consideração de que os sepultamentos contribuem com uma carga microbiológica contaminante relativamente pequena, a qual está restrita a uma área específica, independentemente das condições de precipitação analisadas" (FOSTER et al., 2006).

Uma perspectiva contrária a essa parece subestimar a capacidade de contaminação dos cemitérios. Źychowski (2012) e Environment Agency (2002) destacam que esses locais podem estar associados a contaminantes persistentes e móveis, como nitrato e amônia, além de outros contaminantes potencialmente presentes, como metais pesados e formaldeído, que ainda são pouco estudados.

É importante considerar que os cemitérios, devido às práticas de sepultamento, podem contribuir para a liberação de substâncias químicas e orgânicas no solo e, consequentemente, no lençol freático. Embora alguns estudos sugiram que a carga contaminante seja limitada e restrita a uma área específica, a presença de contaminantes persistentes e móveis levanta preocupações quanto aos possíveis efeitos no meio ambiente e na qualidade das águas subterrâneas.

No entanto, neste estudo, devido à ausência de dados específicos dos cemitérios na área em estudo, abordaremos a faixa de contaminação com um potencial reduzido de carga contaminante.

É importante ressaltar que a falta de dados disponíveis pode limitar a precisão da avaliação da carga contaminante nessa área específica. No entanto, com base em informações gerais e considerando as características dos cemitérios, é possível estimar um potencial reduzido de contaminação.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos a partir do mapeamento da vulnerabilidade do aquífero (FIGURA 5) mostram que existem áreas de média e baixa vulnerabilidade no aquífero próximo aos cemitérios de Teresina. Segundo Hirata (1994), o índice baixo de vulnerabilidade indica que o aquífero é suscetível a compostos extremamente móveis e persistentes, como sais, nitratos e alguns solventes. Também é possível aferir que a média vulnerabilidade é suscetível a variáveis de contaminantes moderadamente móveis e persistentes, como hidrocarbonetos e alguns metais pesados.

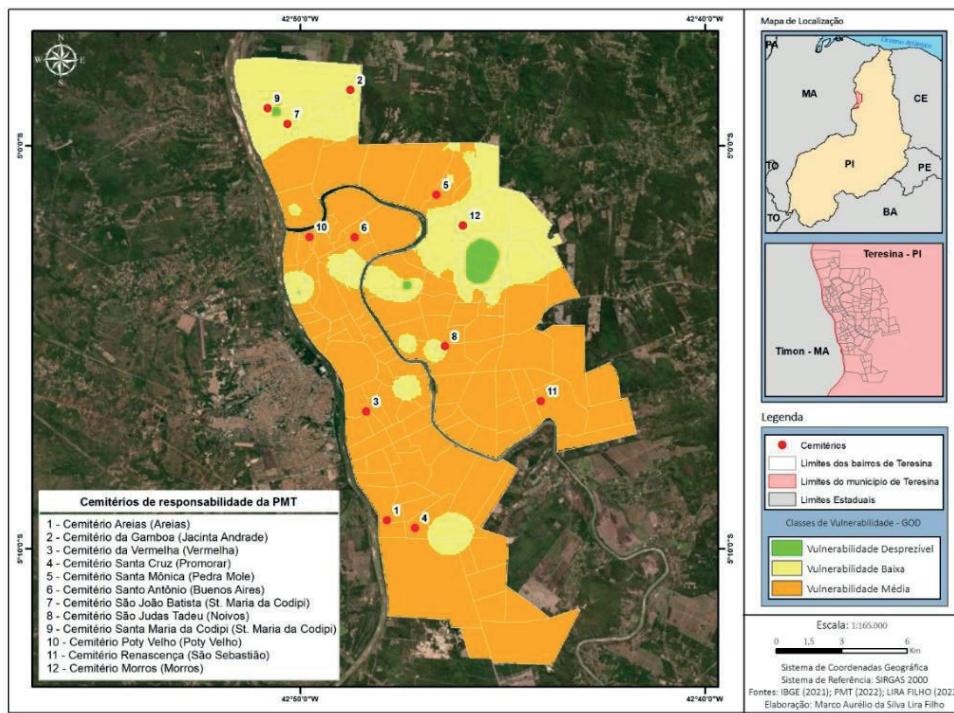


Figura 5: Mapeamento dos cemitérios na área urbana de Teresina e classe de vulnerabilidade GOD.

Fonte: Autores (2024)

Considerando o processo de avaliação do perigo de contaminação, a análise do cruzamento entre as características de vulnerabilidade GOD, identificadas nas áreas das necrópoles, juntamente com o potencial reduzido da carga contaminante nos cemitérios (Método POSH), revelam a presença de um baixo perigo de contaminação no aquífero adjacente às atividades cemiteriais. Os resultados desse cruzamento são apresentados de forma visual na Tabela 1.

CRUZAMENTO DE INFORMAÇÕES			
LOCAL	CLASSE DE VULNERABILIDADE-GOD	MÉTODO POSH	PERIGO DE CONTAMINAÇÃO
Cemitério Areias	Média	Reduzida	Baixo
Cemitério da Gamboa	Baixa	Reduzida	Baixo
Cemitério da Vermelha	Média	Reduzida	Baixo
Cemitério Santa Cruz	Média	Reduzida	Baixo
Cemitério Santa Mônica	Média	Reduzida	Baixo
Cemitério Santo Antônio	Média	Reduzida	Baixo
Cemitério São João Batista	Baixa	Reduzida	Baixo
Cemitério São Judas Tadeu	Baixa	Reduzida	Baixo
Cemitério Santa Maria da Codipi	Baixa	Reduzida	Baixo
Cemitério Poti Velho	Média	Reduzida	Baixo
Cemitério Renascença	Média	Reduzida	Baixo
Cemitério Morros	Baixa	Reduzida	Baixo

Tabela 1:Perigo de contaminação de cada necrópole.

Fonte: Autores (2023)

A baixa contaminação identificada pode ser atribuída a vários fatores, como a natureza do solo e as características hidrogeológicas da região, que atuam como uma barreira natural contra a contaminação. No entanto, é importante destacar que os demais tipos de contaminantes potencialmente presentes nas atividades cemiteriais, conforme relatado em Źychowski (2012), como formaldeído e metais pesados, podem indicar um perigo de contaminação elevado e não dimensionado nesse estudo.

Apesar dos resultados encorajadores, é essencial evitar uma interpretação precipitada de uma garantia absoluta de ausência de riscos. A vigilância constante e o monitoramento regular continuam sendo cruciais para garantir a preservação contínua da qualidade das águas subterrâneas. Além disso, a pesquisa sobre outros contaminantes potencialmente presentes nos cemitérios, como metais pesados e formaldeído, deve ser aprofundada, a fim de avaliar de forma mais abrangente os riscos associados.

Em suma, os resultados apontam que, embora haja indicativos de baixo perigo de contaminação dos aquíferos associados aos cemitérios de Teresina, a falta de medidas preventivas e estratégias de gestão representa uma preocupação. Para garantir a preservação a longo prazo da qualidade das águas subterrâneas e a proteção do meio ambiente, é fundamental que sejam implementadas ações preventivas efetivas e que a pesquisa e monitoramento continuem a ser realizados de forma rigorosa.

4 | CONCLUSÃO

A avaliação do perigo de contaminação dos aquíferos próximos aos cemitérios de Teresina revelou informações sobre a suscetibilidade à contaminação por atividades cemiteriais na capital piauiense. Com base nos resultados obtidos, podemos concluir que, de maneira geral, os aquíferos avaliados apresentam um baixo nível de risco de contaminação.

Isso pode indicar que as práticas de sepultamento são influenciadas por diversos fatores, como as características hidrogeológicas favoráveis da região e a existência de uma barreira natural no solo. No entanto, é importante ressaltar que a ausência de medidas preventivas implantadas nas áreas dos cemitérios requer atenção e cuidado contínuos. A implementação de regulamentos e diretrizes de gestão adequadas, juntamente com práticas de manejo eficazes, se tornam ainda mais essenciais para garantir a preservação da qualidade das águas subterrâneas.

Além disso, é necessário aprofundar a pesquisa sobre outros contaminantes potencialmente presentes nos cemitérios, como metais pesados e formaldeído, a fim de avaliar de forma mais abrangente os riscos associados. A vigilância constante e o monitoramento regular são fundamentais para identificar e mitigar possíveis fontes de contaminação, aprimorando continuamente as práticas de manejo e protegendo os aquíferos.

REFERÊNCIAS

CRUZ, Nicholas Joseph Tavares da; LEZANA, Álvaro Guillermo Rojas; SANTOS, Paulo da Cruz Freire dos; PINTO, Ibsen Mateus Bittencourt Santana; ZANCAN, Claudio; SOUZA, Gustavo Henrique Silva de. 2017. **Environmental impacts caused by cemeteries and crematoria, new funeral technologies, and preferences of the Northeastern and Southern Brazilian population as for the funeral process.** Disponível em: <https://link.springer.com.ez13.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s11356-017-0005-3>.

LIRA FILHO, Marco Aurélio da Silva. **Análise da vulnerabilidade natural e do perigo de contaminação de aquíferos por postos de combustíveis na cidade de Teresina - Piauí.** Orientador: Mauro César de Brito Sousa. 2023. 415 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Análise e Planejamento Espacial) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central, Teresina, 2023.

FOSTER, Stephen et al. 2006. **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais.** p. 144.

FOSTER, S. HIRATA, R. 1988. **Groundwater pollution risk evalution: the methodology using available data.** CEPIS-PAHO/WHO. Lima, 78 p.

HIRATA, R. 1994. **Fundamentos e estratégias de proteção e controle da qualidade das águas subterrâneas: estudo de casos no estado de São Paulo.** 1994. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SOUZA, M. C. B. ; CASTRO, M. A. H. ; MONTEIRO, C. A. B. ; PESSOA, G. P. ; SOUZA, C. D. 2015. Estudo da contaminação do aquífero próximo ao cemitério Areias, Teresina/PI, Brasil. *Brazilian Geographical Journal: geosciences and humanities research medium* , v. 6, p. 41-57.

ŻYCHOWSKI, Józef. 2012. **Impact of cemeteries on groundwater chemistry: A review.** *Catena*, v. 93, p. 29-37.