

Avaliação do perigo de contaminação do aquífero próximo ao cemitério Areias, Teresina, Piauí

Mauro César de Brito Sousa
Instituto Federal do Piauí – Brasil
mauro.sousa@ifpi.edu.br

Cleto Augusto Baratta Monteiro
Universidade Federal do Piauí – Brasil
cleto_baratta@hotmail.com

ABSTRACT

Aquifers are under risk of contamination due to the disorderly advance of urbanization and the most different sources of contaminating anthropogenic activities, industrial development, agricultural activities and even necropolis. Thus, it is necessary to practice the management in a way to protect the natural quality of groundwater and to adopt conditions of environmental sustainability and conservation of water supply systems for human consumption. This article analyzed the probabilities of the negative impact of the Areias cemetery (Teresina-PI) in the urban aquifer. The Groundwater Pollution Hazard Assessment, developed by Foster et al. (2006), was used in the cemetery area and represents the interaction between the contaminant applied on the subsurface environment and the aquifer pollution vulnerability. The results identified was useful to point out that the Areias cemetery requires the immediate attention of the managing organs and that the method of analysis can serve as a tool for management of other areas potentially impacted by necropolis in the capital and other cities of the State of Piauí.

Keywords: *Aquifer; Risk of contamination; Cemeteries*

1. INTRODUÇÃO

Aquíferos estão sob risco declarado de contaminação devido ao avanço desordenado da urbanização e das mais variadas fontes de atividades antrópicas potencialmente contaminantes, como indústrias, atividades agrícolas e até mesmo necrópoles.

Se faz necessário, portanto, a adoção de práticas de gestão capazes de proteger a qualidade natural das águas subterrâneas, como forma de manutenção de condições amplas de sustentabilidade ambiental e critérios básicos de conservação de sistemas de abastecimento de água para consumo humano.

Segundo Foster et al. (2006), a abordagem mais lógica para identificação do perigo de contaminação da água subterrânea é considerá-lo como a interação entre a vulnerabilidade do aquífero à contaminação e a carga contaminante presente na região de estudo. A vulnerabilidade do aquífero pode ser considerada consequência das características naturais dos estratos que o separam da superfície, enquanto que a carga contaminante a ser aplicada no meio é resultado de alguma atividade antrópica.

Dentre a ampla gama de atividades desenvolvidas pelo homem, com carga contaminante potencialmente impactantes das faixas subsuperficiais de solo e aquíferos rasos ou profundos, as

necrópoles brasileiras trazem especial preocupação pela sua localização e geração de passivos ambientais nem sempre levados a sério.

Antes localizadas em áreas pouco urbanizadas, as necrópoles trazem hoje o agravante de estarem inseridas em plena área urbana das cidades, onde não raramente, a comunidade do seu entorno faz uso dos mananciais subterrâneos rasos para o consumo doméstico.

Segundo boletim técnico da ABAS (2001), no Brasil, praticamente a totalidade dos cemitérios municipais apresentavam algum problema de cunho ambiental ou sanitário. A expectativa da contaminação oriunda de necrópoles envolve o lixiviado gerado na decomposição da matéria orgânica enterrada na subsuperfície que pode adentrar os espaços intragranulares do solo e encontrar o lençol freático, tornando-o poluído pelo aumento da concentração natural de substâncias orgânicas e inorgânicas (ÜÇISIK; RUSHBROOK, 1998; ENVIRONMENT AGENCY, 2002; ENVIRONMENT AGENCY, 2004; MARTINS et al., 1991).

Em Teresina, capital do estado do Piauí, o caso do cemitério Areias é um caso peculiar que ilustra a falta de cuidado com a locação adequada desses tipos de atividades em ambientes urbanos, além da falta de gestão adequada dos mananciais subterrâneos.

O cemitério Areias está localizado em plena área urbana da cidade de Teresina, às margens do Rio Parnaíba e à montante do ponto de captação da principal Estação de Tratamento de Água que abastece a cidade. Embora, esteja atualmente com suas atividades paralisadas, permanece a dúvida da comunidade sobre o potencial poluidor da necrópole e a expectativa de reabertura para novos sepultamentos, tendo em vista a demanda local.

Este artigo, concretizado com o apoio do Instituto Federal do Piauí (ProAGRUPAR), traz o estudo do perigo de contaminação do cemitério Areias ao aquífero, indicando quais as probabilidades de impactos negativos da necrópole na região apontada e avaliando a aplicabilidade do método de investigação utilizado e sua capacidade como ferramenta de gestão de águas subterrâneas.

2. MATERIAIS E MÉTODO

O método de avaliação do perigo de contaminação de aquíferos, desenvolvido por Foster et al. (2006), foi utilizado para avaliação da área do cemitério Areias e consiste da interação entre a vulnerabilidade do aquífero e o tipo de carga contaminante produzida pela atividade antrópica em estudo.

A vulnerabilidade do aquífero foi determinada utilizando o método GOD de vulnerabilidade (FOSTER e HIRATA, 1988). A metodologia POSH de avaliação da carga contaminante (FOSTER et al. 2006) foi utilizada para determinar o potencial contaminante no subsolo do cemitério Areias.

Os dados de campo, necessários para desenvolvimento da pesquisa, foram retirados da pesquisa realizada por Sousa et al. (2015), e consistiram nos dados de profundidade do lençol freático, das litologias identificadas em pontos de sondagem e identificação do grau de confinamento do aquífero.

Por fim, o resultado da avaliação do perigo de contaminação disponibilizou uma perspectiva do impacto do cemitério na área em estudo, assim como, proporcionou quais as melhores práticas para gerenciar o aquífero na região. As informações a seguir trazem um adendo sobre o funcionamento de

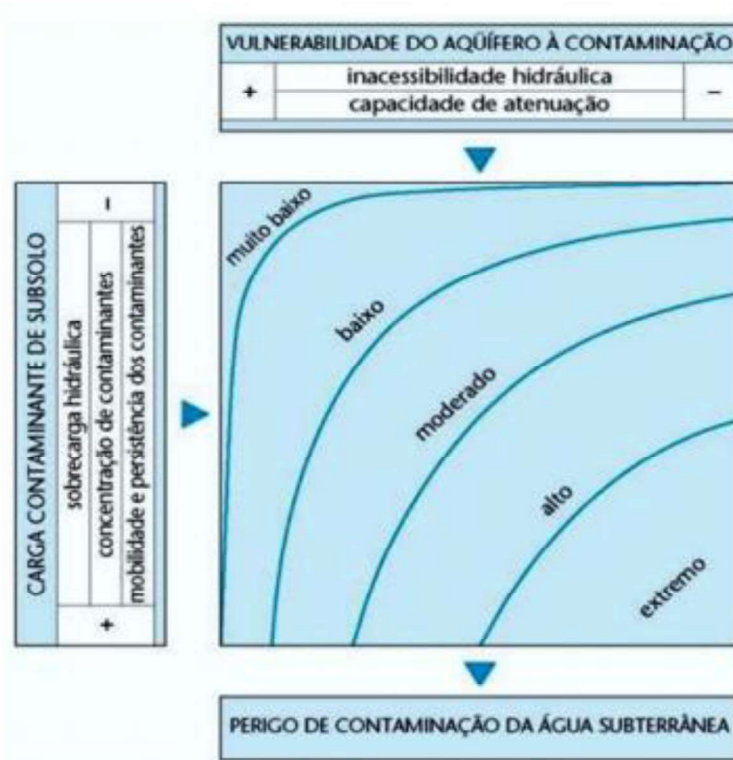
cada método utilizado e a caracterização da área de estudo desse artigo.

2.1 Avaliação do perigo de contaminação

Segundo Foster et al. (2006), o perigo de contaminação da água subterrânea é definido como a probabilidade de um aquífero sofrer impactos negativos de atividades antrópicas, pela introdução de alterações que ocasionem concentrações de contaminantes superiores aos valores preconizados pela Organização Mundial de Saúde para a qualidade da água potável.

O perigo de contaminação é, portanto, a verificação da interação entre o tipo de carga contaminante e a vulnerabilidade do aquífero, podendo ser aferido segundo o ábaco desenvolvido por Foster et al. (2006). Como resultado, evidencia-se estimativas que variam entre baixo, moderado e alto perigo de contaminação do aquífero.

Figura 1. Estimativa do perigo de contaminação do aquífero



Fonte: Foster et al. (2006)

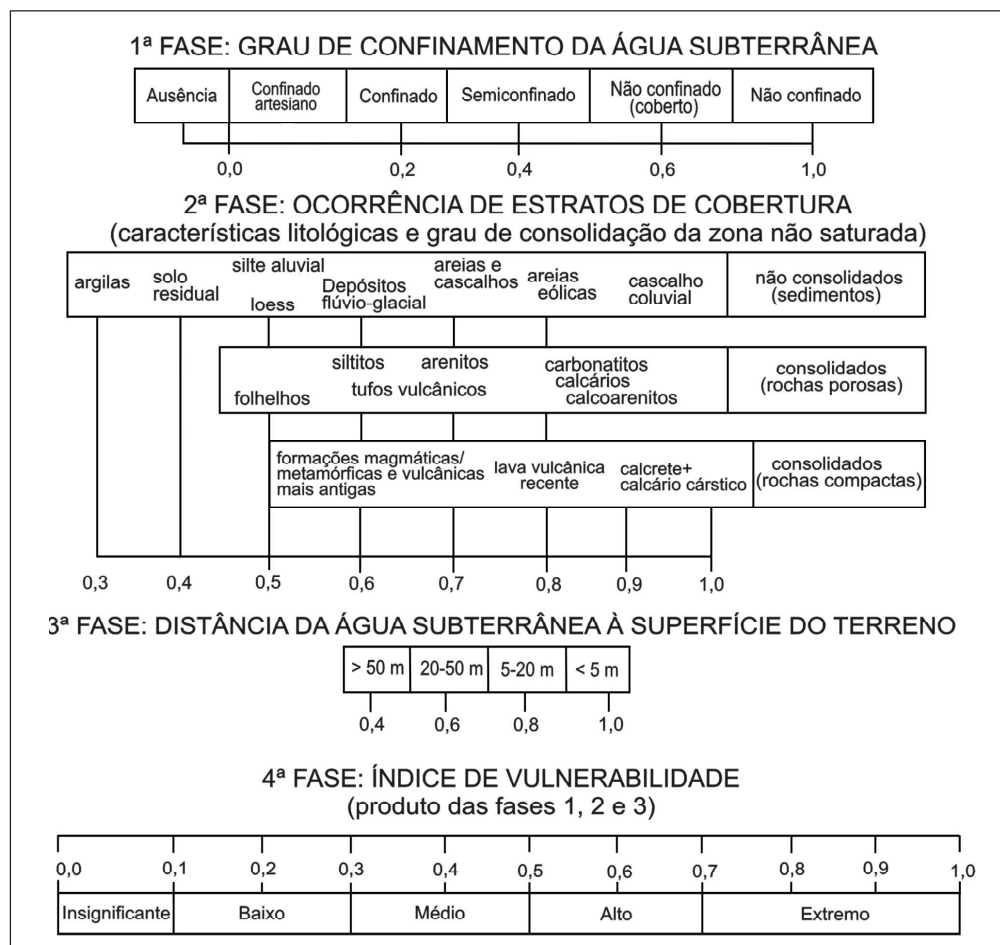
2.2 Avaliação da vulnerabilidade GOD

Segundo Foster (1987), a vulnerabilidade de aquíferos à contaminação está relacionada ao conjunto de características dos estratos de solo que separam o topo do terreno de sua zona saturada, determinando a sua suscetibilidade aos efeitos adversos de uma carga contaminante aplicada na superfície.

O conceito, embora de fácil entendimento, abriga o fato de que os dados para a caracterização das condições dos estratos de solo até a zona saturada são dispendiosos e nem sempre estão disponíveis ou são de fácil obtenção.

Assim, levando-se em conta a dificuldade sempre presente de disposição de parâmetros confiáveis para estudos de mananciais subterrâneos, Foster e Hirata (1988) desenvolveram o método GOD de análise da vulnerabilidade de aquíferos à contaminação. O procedimento é baseado em três parâmetros básicos de caracterização da subsuperfície, indexados segundo a sua contribuição ao valor final da vulnerabilidade do aquífero.

Figura 2. Método de vulnerabilidade de aquíferos GOD



Fonte: Tavares et al. (2009).

Destarte, os parâmetros são assim elencados (Confira também na Figura 2):

- O grau de confinamento hidráulico da água subterrânea caracteriza a letra **G** da nomenclatura e tem índice que varia na escala de 0 a 1,0;
- A ocorrência dos estratos de cobertura caracteriza a letra **O** da nomenclatura e está relacionada a capacidade de atenuação do contaminante, com índice variando de 0,3 a 1,0.
- Por fim, a distância até a zona saturada caracteriza a letra **D** da nomenclatura, e tem índice variando de 0,4 a 1,0.

O produto final desses índices apresentados resume a vulnerabilidade final do aquífero, que pode variar entre vulnerabilidade insignificante, baixa, média, alta e extrema vulnerabilidade.

Hirata (1994) destaca que o índice baixo indica um aquífero vulnerável 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. E o alto índice indica que o aquífero é muito sensível a contaminantes degradáveis como bactérias e vírus.

2.3 Análise da carga contaminante (POSH)

O método de análise da carga contaminante POSH (*pollutant origin, surcharge hydraulically*) está relacionado à origem do poluente e sua sobrecarga hidráulica na subsuperfície, produzindo níveis de contaminação no subsolo que podem variar entre reduzido, moderado e elevado (FOSTER et al., 2006).

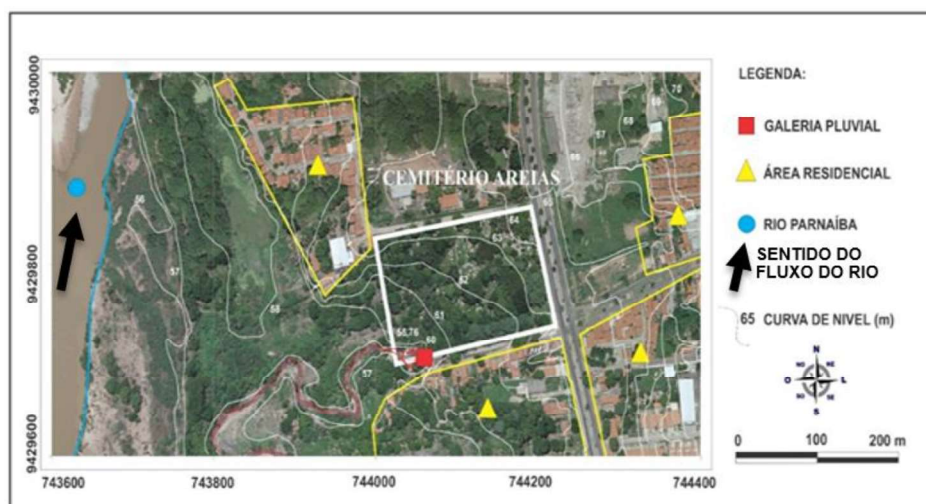
Segundo o POSH, para o caso do lixiviado produzido por necrópoles, considera-se que existe potencial reduzido de carga contaminante no subsolo, ocasionada por uma pequena carga microbiológica e restrita a certa área (FOSTER et al., 2006).

Essa expectativa de baixo potencial poluidor da carga contaminante, entretanto, parece subestimar estudos que indicam um maior risco de contaminação oriundo de necrópoles. De acordo com estudos publicados por Żychowski (2012) e Environment Agency (2002), a contaminação associada a cemitérios podem indicar compostos persistentes e móveis como nitrato e amônia, contaminantes degradáveis como vírus e bactérias e, ainda, contaminantes potencialmente presentes e ainda pouco estudados como metais pesados e formaldeído.

Porém, trataremos nesse estudo – devido a inexistência de dados sobre a carga contaminante no cemitério Areias – a faixa de contaminação preconizada pelo método POSH em necrópoles: potencial reduzido de carga contaminante.

2.4 Caracterização da área de estudo

Figura 3. Cemitério Areias localizado na Zona UTM 23, Teresina, Piauí, Brasil.



Fonte: Sousa et al. (2015).

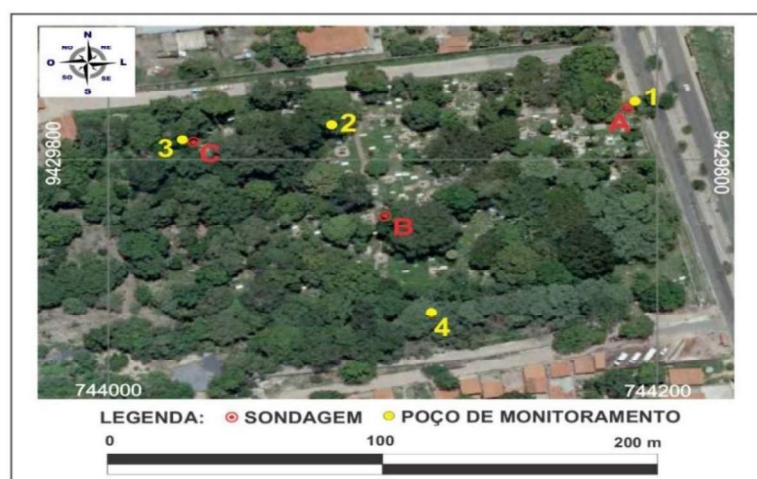
O cemitério Areias está localizado na zona urbana-sul da cidade de Teresina, Piauí, Brasil. Ocupa uma área de 3,5 hectares de solo, onde destaca-se o Latossolo Vermelho-Amarelo, situado em uma faixa

paralela ao rio Parnaíba, com uma largura média de 10 km, ocorrendo com grande profundidade. Essa característica aponta para um aquífero não confinado na área de influência do cemitério Areias (SOUSA et al., 2015).

A média anual da precipitação acumulada é de 1332 mm, com regime pluviométrico concentrando-se com 75,6% da chuva nos primeiros quatro meses do ano, onde são comuns a presença de chuvas de alta intensidade (SOUSA et al., 2015).

Segundo Sousa et al. (2015), a partir de poços de monitoramento do nível estático instalados na área do cemitério Areias, constata-se que a profundidade média do aquífero em relação ao topo do terreno é menor do que 5 metros em todo o período analisado e para todos os pontos monitorados (Vide Figura 4 e Quadro 1).

Figura 4. Distribuição espacial das sondagens e poços de monitoramento.



Fonte: Sousa et al. (2015).

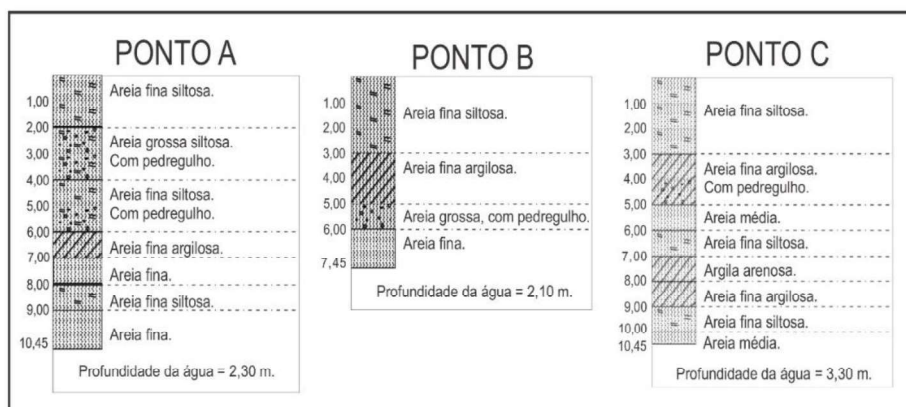
Quadro 1. Profundidade do aquífero freático em metros no cemitério Areias. Monitoramento realizado de novembro de 2012 a outubro de 2013.

Datas das Observações	Poços de Monitoramento			
	P1	P2	P3	P4
28 de novembro de 2012	3,86	3,35	3,85	2,92
10 de dezembro de 2012	3,77	3,18	3,84	2,83
14 de janeiro de 2013	3,57	2,61	3,72	2,5
18 de fevereiro de 2013	3,21	2,72	3,42	2,15
11 de março de 2013	3,24	2,78	3,44	2,25
13 de maio de 2013	2,67	2,33	2,97	1,88
10 de junho de 2013	2,98	2,73	3,1	2,24
15 de julho de 2013	3,26	2,84	3,5	2,32
12 de agosto de 2013	3,57	2,98	3,66	2,45
09 de setembro de 2013	3,62	3,07	3,64	2,48
14 de outubro de 2013	3,74	3,15	3,82	2,63

Fonte: Sousa et. al (2015).

Na Figura 5 constata-se que a predominância de areias com diferentes granulometrias compõe o estrato de solo que cobre o lençol freático abaixo do cemitério Areias. Esta percepção foi possível a partir dos poços de sondagem instalados na pesquisa de SOUSA et al. (2015) (Conferir distribuição das sondagens na Figura 4).

Figura 5. Colunas de solo dos furos de sondagem no cemitério Areias.



Fonte: Sousa et. al (2015).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultados e discussão serão apresentados considerando a sequência lógica de análise do perigo de contaminação proposto por FOSTER et al. (2006). Assim, será apresentado o resultado da vulnerabilidade do aquífero, posteriormente o cruzamento da vulnerabilidade com as características da carga contaminante e as discussões acerca dos resultados apresentados.

3.1 Avaliação da vulnerabilidade do aquífero

A análise da vulnerabilidade do aquífero na área do cemitério areias parte da indexação das características do aquífero apresentadas na metodologia desse estudo. Assim, obtém-se o índice GOD no valor de 1,0 para a distância do topo do terreno ao início da zona saturada, ao se observar que a profundidade monitorada apresentou valores menores que 5 metros (Vide Figura 2 e Quadro 1).

Para o índice que analisa as características dos estratos de cobertura, têm-se a indexação relativa avaliada em 0,7, segundo o Método GOD de vulnerabilidade de aquíferos, pois observa-se a presença predominante de areias nos perfis de solos amostrados (Vide Figura 2 e Figura 5).

Finalmente, o índice GOD 1,0 atende às características de aquífero não confinado observadas por Sousa et al. (2015) (Vide Item 2.4). O produto dos índices observados indica o valor final GOD = 0,7, apontando alta vulnerabilidade à contaminação na zona do cemitério Areias.

O Quadro 2 sumariza os dados considerados para definição da vulnerabilidade do aquífero. A Figura 6 demonstra o mapa da vulnerabilidade para a região de estudo.

Quadro 2. Parâmetros analisados e vulnerabilidade GOD calculada

Avaliação da vulnerabilidade GOD	Ocorrência no cemitério Areias	Índice GOD
I - Grau de confinamento do aquífero	Inconfinado	1,0
II - Origem dos estratos de cobertura	Areias aluviais	0,7
III - Distância até o lençol freático	Menor que 5 m	1,0
Índice final GOD (I x II x III)		0,7
Vulnerabilidade do aquífero à contaminação		ALTA

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 6. Vulnerabilidade do aquífero cobrindo especificamente a área do cemitério Areias.



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.2 Avaliação do perigo de contaminação

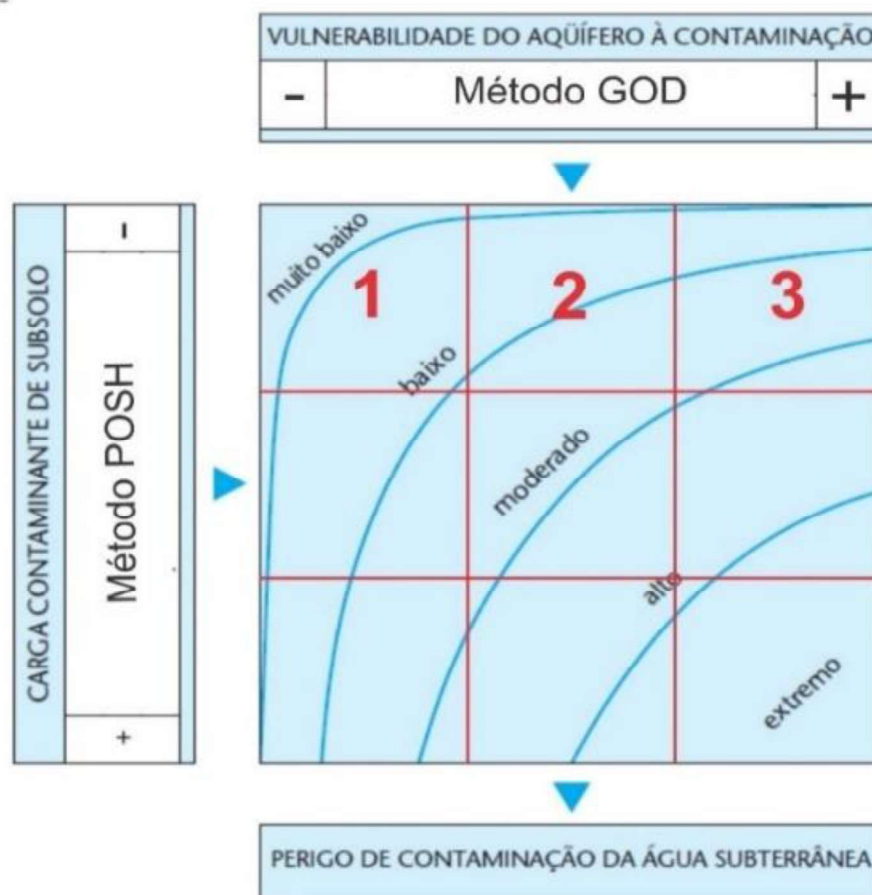
O cruzamento com as características de alta vulnerabilidade GOD, encontrada para área da necrópole (Item 3.1 desse artigo), juntamente com o potencial reduzido da carga contaminante no cemitério (Item 2.3 desse artigo), indica a possibilidade de perigo de contaminação variando de moderado a alto. O resultado do cruzamento pode ser visualizado na Figura 7 (Situação 3).

Nestas condições, é importante observar que o moderado e alto perigo de contaminação são influenciados principalmente pela alta vulnerabilidade identificada no aquífero. E que tais características de vulnerabilidade, com pequenas camadas de coberturas até o aquífero e solos de alta permeabilidade (areias), conferem possibilidade de trânsito livre para contaminantes comumente identificados em necrópoles, mesmo em pequenas quantidades.

Considerando que estudos de contaminação em necrópoles já encontraram elevados níveis de nitrato em águas subterrâneas (MARTINS et al. 1991), e tendo-se em conta que o nitrato é um clássico caso de contaminante persistente e móvel, o alerta de alto perigo de contaminação para a área do cemitério Areias é plenamente justificado e confirma as condições de campo identificadas pelo estudo.

Ademais, o alerta de alto perigo de contaminação também alinha adequadamente a necessidade de cuidados especiais na gestão do aquífero contra a contaminação de patógenos pouco móveis e altamente degradáveis, como é o caso de microrganismos comumente identificados em lixiviados de necrópoles e amplamente relacionados a doenças de veiculação hídrica.

Figura 7. Situações de resposta do método de perigo de contaminação



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

4. CONCLUSÕES

O alto perigo de contaminação identificado foi útil para apontar que o cemitério Areias requer a atenção permanente dos órgãos gestores e que o método de análise pode servir como ferramenta para gestão de outras áreas potencialmente impactadas por necrópoles na capital e demais cidades do Estado do Piauí.

No caso do cemitério Areias, o encerramento das atividades deve ser pautado em caráter definitivo, pois novos sepultamentos podem reativar a carga poluidora que, aliada a alta vulnerabilidade do aquífero, ocasiona o alto perigo de contaminação observado neste estudo. Além disso, a reabertura oferece riscos à população que vive no entorno da necrópole e que, frequentemente, faz uso das águas do aquífero raso para consumo doméstico.

Por fim, conclui-se que o zoneamento de proteção da água subterrânea, pautado na definição dos níveis de perigo de contaminação de aquíferos, tem papel fundamental na definição de prioridades para o monitoramento da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos. Além de contribuir para o avanço sustentável da malha urbana, para a auditoria ambiental balizada de atividades antrópicas e comunicação social em geral, oportunizando o engajamento adequado de usuários, potenciais poluidores e gestores.

REFERÊNCIAS

ABAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Cemitérios: risco potencial às águas subterrâneas. Boletim Informativo, n. 111, fev. 2001.

ENVIRONMENT AGENCY. Assessing the groundwater pollution potential of cemetery developments. 20 p. 2004.

ENVIRONMENT AGENCY. Pollution potential of cemeteries – Draft Guidance. R&D Technical Report P223, 71p. 2002. Disponível em: < <https://www.gov.uk> >. Acesso em: 10.out. 2014.

FOSTER, S. “Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy.” Proceedings of International Conference: Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants. Noordwijk, Países Baixos. 1987.

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

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R.; 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. Tradução Silvana Vieira. Revisão Técnica Ricardo Hirata. São Paulo: Servmar – Serviços Técnicos Ambientais Ltda. 2006.

HIRATA, R. 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, 1994.

MARTINS, T.; PELLIZARI, V. H.; PACHECO, A.; MYAKI, D. M.; ADAMS, C.; BOSSOLAN, N. R. S. et al. Qualidade bacteriológica de águas subterrâneas em cemitérios. Revista Saúde Pública, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 47-52. 1991.

SOUSA, M. C. B., CASTRO, M. A. H, MONTEIRO, C. A. B., PESSOA, G. P., SOUZA, C. D. Estudo da contaminação do aquífero próximo ao cemitério Areias, Teresina/PI, Brasil. Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium, Ituiutaba, v. 6, n. 1, p. 41-57, jan./jun. 2015.

TAVARES, P. R. L.; CASTRO, M. A. H.; COSTA, C. T. F. ; SILVEIRA, J. G. P. ; ALMEIDA JUNIOR, F. J. B. . Mapeamento da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas localizadas na Bacia Sedimentar do Araripe, Estado do Ceará, Brasil. Revista da Escola de Minas (Impresso), v. 62, p. 227-236, 2009.

ÜÇISIK, A. S.; RUSHBROOK, P. The impact of cemeteries on the environment and public health: an introductory briefing. Copenhagen: WHO. 15p. 1998.

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