

O USO DA AVALIAÇÃO DO PERIGO DE CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO COMO UM REQUISITO PARA O LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE CEMITÉRIOS

MAURO CÉSAR DE BRITO SOUSA

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí | Brasil
mauro.sousa@ifpi.edu.br

CLETO AUGUSTO BARATTA MONTEIRO

Universidade Federal do Piauí | Brasil
cleto_baratta@hotmail.com

MARCO AURÉLIO HOLANDA DE CASTRO

Universidade Federal do Ceará | Brasil
marco@ufc.br

PALAVRAS-CHAVE:

Cemitérios
Gestão
Contaminação

RESUMO:

A contaminação de aquíferos em áreas próximas a cemitérios é uma realidade comum em muitas partes do Brasil e do mundo. Este estudo propôs a implantação de dispositivos que incrementassem os critérios de licenciamento da Resolução CONAMA 368/2006. A partir do conceito de perigo de contaminação foi proposto níveis de gestão para casos diferenciados da interação entre cemitérios e meio ambiente. Os resultados mostraram que a metodologia aplicada pode ajudar na manutenção da qualidade ambiental de aquíferos.

THE USE OF ASSESSMENT OF AQUIFER POLLUTION HAZARD AS A REQUISITE FOR THE ENVIRONMENTAL LICENSING OF CEMETERIES

ABSTRACT:

Aquifer contamination in areas near by cemeteries are a common reality in many parts of Brazil e worldwide. This study proposed the deployment of devices that enhance licensing criteria proposed by CONAMA 368/2006. From the concept of risk of contamination was proposed management levels for different cases of interaction between cemeteries and environment. The results showed that the methodology applied might assist in maintaining the environmental quality aquifers.

KEYWORDS:

Cemeteries
Management
Contamination

EL USO DE LA EVALUACIÓN DEL PELIGRO DE LA CONTAMINACIÓN DE LOS ACUÍFEROS COMO UN REQUISITO PARA EL LICENCIAMIENTO AMBIENTAL DE LOS CEMENTERIOS

PALABRAS CLAVE:

Cementerios
Gestión
Contaminación

RESUMEN:

La contaminación de los acuíferos en las áreas próximas a los cementerios es una realidad común en muchas regiones del Brasil y del mundo. Este estudio ha propuesto la instalación de dispositivos que mejoraran los criterios de licenciamiento de la Resolución CONAMA 368/2006. Desde el concepto del peligro de contaminación

fue propuesto niveles de gestión para los distintos casos de interacción entre los cementerios y el medio ambiente. Los resultados han mostrado que la metodología aplicada puede ayudar en el mantenimiento de la calidad ambiental de los acuíferos.

INTRODUÇÃO

Segundo a Environment Agency (2002), a composição do corpo humano é constituída pelos principais poluentes observados em áreas impactadas por cemitérios, com particular destaque para as formas dissolvidas de nitrogênio. O potencial aumento do pH decorrente da alta proporção de íons de cálcio também pode ser esperado, além de eventual superação de concentrações de cloreto e sulfato, e presença de indicadores de matéria orgânica e indicadores bacterianos.

Segundo Żychowski (2012), é fato que os cemitérios representam um importante problema de saúde pública, contudo, são comumente negligenciados como risco de contaminação de solos e aquíferos, e vários países não têm normas legais apropriadas que tratem desse passivo ambiental.

Na Europa, o impacto dos cemitérios nas águas subterrâneas é amplamente debatido pela autoridade reguladora do ambiente no Reino Unido, a Environment Agency. Em 2002, foi publicado pela Environment Agency (ENVIRONMENT AGENCY, 2002) um dos mais completos guias para a prevenção da contaminação das águas subterrâneas por cemitérios. O trabalho contempla não somente os dados de qualidade das águas subterrâneas, mas vislumbra uma gestão mais ampla, integrada à análise de vulnerabilidade, estudo de proteção de fontes, análise de riscos para implantação de novos cemitérios e insere a necessidade de modelos numéricos para previsão de cenários de contaminação.

O método proposto, baseado em uma abordagem multicamadas, sugere que certas combinações de vulnerabilidade do aquífero e taxas de sepultamento podem representar ameaças significativas às águas subterrâneas e de superfície. Assim, a avaliação para a implantação de novos empreendimentos baseia-se em uma estimativa da carga de poluição potencial, tendo em conta as características de atenuação oferecida pelas vias de transporte (ENVIRONMENT AGENCY, 2002).

No Brasil, analisando-se os requisitos impostos pela Resolução CONAMA 368/2006 (BRASIL, 2006) para o licenciamento ambiental de cemitérios, percebe-se que sua metodologia de salvaguarda dos aquíferos é baseada principalmente nas características de permeabilidade do solo e consequentemente na capacidade de atenuação de substâncias na subsuperfície.

Segundo observado, para cemitérios que não estão em zonas de mananciais, considera-se a profundidade de 1,5 m como padrão entre o fundo da sepultura (fonte de carga contaminante) e o lençol freático.

Art.5º Deverão ser atendidas, entre outras, as seguintes exigências para os cemitérios horizontais:

I – o nível inferior das sepulturas deverá estar a uma distância de pelo menos um metro e meio acima do mais alto nível do lençol freático, medindo no fim da estação das cheias (Resolução CONAMA nº368/06).

Sabe-se que os perfis naturais de solo atenuam ativamente muitos poluentes da água subterrânea. Porém, nem todos os perfis são igualmente eficazes na atenuação dos contaminantes, apesar da prática reiterada de se lançar efluentes e resíduos sólidos no subsolo.

Na Resolução CONAMA 368/2006 (BRASIL, 2006), a prática recomendada no Art. 5º, inciso I, pode incidir no erro de superestimação da capacidade de atenuação da contaminação no solo. Isso porque, não se acrescenta qualquer especificação sobre as características necessárias do substrato na área pretendida do projeto, negligenciando uma informação capaz de garantir a qualidade da água no aquífero raso.

Em áreas de mananciais, a Resolução CONAMA 368/2006 (BRASIL, 2006) estabelece que o substrato deve apresentar baixa permeabilidade (entre 10^{-5} e 10^{-7} cm.s⁻¹), ou em caso contrário, distância até o topo do aquífero de 10 m de profundidade.

Art.5º Deverão ser atendidas, entre outras, as seguintes exigências para os cemitérios horizontais:

§1º Para cemitérios horizontais, em áreas de manancial para abastecimento humano, devido às características especiais dessas áreas, deverão ser atendidas:

III – o subsolo da área pretendida para o cemitério deverá ser constituído por materiais com coeficiente de permeabilidade entre 10^{-5} e 10^{-7} cm.s⁻¹, na faixa compreendida entre o fundo das sepulturas e o nível do lençol freático, medido no fim da estação das cheias. Para permeabilidade maiores, é necessário que o nível inferior dos jazigos esteja dez metros acima do nível do lençol freático. (Resolução CONAMA nº368/06).

Essa abordagem, embora melhore o crivo quanto ao tipo de solo recomendado para a instalação do empreendimento, não considera as características da carga contaminante presente nas sepulturas, tampouco sugere o monitoramento da possibilidade de contaminação do aquífero. Essa prática pode, mais uma vez, acarretar no erro de superestimação da capacidade de depuração do substrato.

Outra preocupação relacionada a abordagem da Resolução CONAMA 368/2006 (BRASIL, 2006), é evidenciada na necessidade de locação do cemitério a distâncias seguras de corpos de água superficiais e subterrâneos a critério do órgão licenciador.

Art.5º Deverão ser atendidas, entre outras, as seguintes exigências para os cemitérios horizontais:

§1º Para cemitérios horizontais, em áreas de manancial para abastecimento humano, devido às características especiais dessas áreas, deverão ser atendidas:

I – a área prevista para implantação do cemitério deverá estar a uma distância segura de corpos de água, superficiais e subterrâneos, de forma a garantir sua qualidade, de acordo com estudos apresentados e a critério do órgão licenciador (Resolução CONAMA nº368/06).

Normalmente, essa distância é estimada por cálculos simplistas baseados em distâncias arbitrárias ou modelos analíticos que desconsideram a complexidade do aquífero freático e fluxo subterrâneo. Segundo Taylor *et al.* (2004), o uso da velocidade média linear do fluxo de água subterrânea ignora as muitas possibilidades de velocidades que realmente ocorrem. Nessas condições, a não redução da possibilidade de contaminação microbiana, por exemplo, é fato nos Estados Unidos desde que se passou a utilizar a velocidade média linear

do fluxo subterrâneo como forma de preservar a qualidade das águas subterrâneas (TAYLOR *et al.* 2004).

Assim, condicionar a liberação do uso do solo para atividades de sepultamentos, baseados unicamente em profundidades e distâncias arbitrárias sem maiores estudos entre a interação da carga contaminante e variados tipos de estratos de solo, parece uma prática condescendente proporcionada pela Resolução CONAMA 368/2006 (BRASIL, 2006).

Esse cenário dotado de incertezas relacionadas ao binômio formado entre contaminação e atenuação do solo deveria provocar um aumento da segurança e gerenciamento do cemitério, a fim de evitar possíveis passivos ambientais. Elevar a caracterização do aquífero e estabelecer metas de monitoramento da atividade poderiam fornecer maior controle, diminuir os riscos de contaminação e proteger a população.

Assim, para cemitérios a serem instalados ou para reavaliar os já instalados, este estudo propôs a implantação de dispositivos que incrementassem os critérios de licenciamento propostos pela Resolução CONAMA 368/2006 (BRASIL, 2006).

MATERIAL E MÉTODOS

Considerou-se que a triagem para licenciamento de cemitérios segundo a Resolução CONAMA 368/2006 (BRASIL, 2006) deveria receber uma segunda camada de avaliação analisando o perigo de contaminação do lençol freático. A partir do conceito do perigo de contaminação, foi possível propor níveis de gestão para casos diferenciados da interação cemitério e meio ambiente, aumentando os critérios de segurança e dirimindo o surgimento de novos passivos ambientais.

A gestão proposta, portanto, apresentou os conceitos de perigo de contaminação (FOSTER, 2006), vulnerabilidade de aquíferos (FOSTER, 1987), caracterização da carga contaminante em cemitérios (FOSTER, 2006) e integrou-os em uma abordagem multicamadas à Resolução CONAMA 368/2006 (BRASIL, 2006). Posteriormente, utilizou-se o caso do cemitério Bom Jardim (Fortaleza – CE) para aferir a aplicabilidade da abordagem sugerida.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

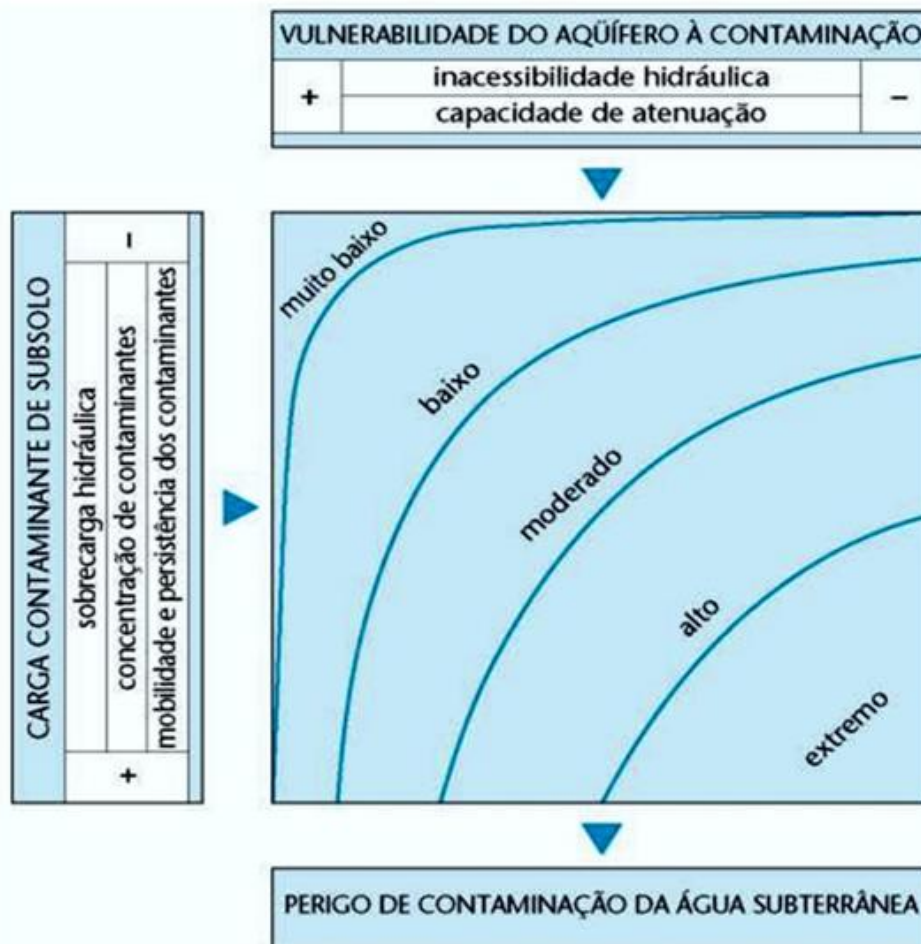
Perigo de contaminação

O perigo de contaminação da água subterrânea pode ser definido como a probabilidade de um aquífero sofrer impactos negativos de determinada atividade humana, tornando a água imprópria para o consumo humano segundo os valores normativos da OMS para água potável. Essa estratégia pode indicar as prioridades para o controle de impactos e promover o entendimento público sobre a necessidade de proteção. Quando realizada de forma eficaz, é possível estabelecer ações preventivas para evitar contaminação futura (FOSTER, 2006).

Em termos práticos, a abordagem do perigo de contaminação envolve a interação entre a vulnerabilidade do aquífero à contaminação e a caracterização da carga contaminante

aplicada no meio como resultado da atividade humana. O resultado dessa interação proporciona valores qualitativos de baixo, moderado ou alto perigo de contaminação da água subterrânea, segundo consta na Figura 01.

Figura 01 – Método do perigo de contaminação.



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

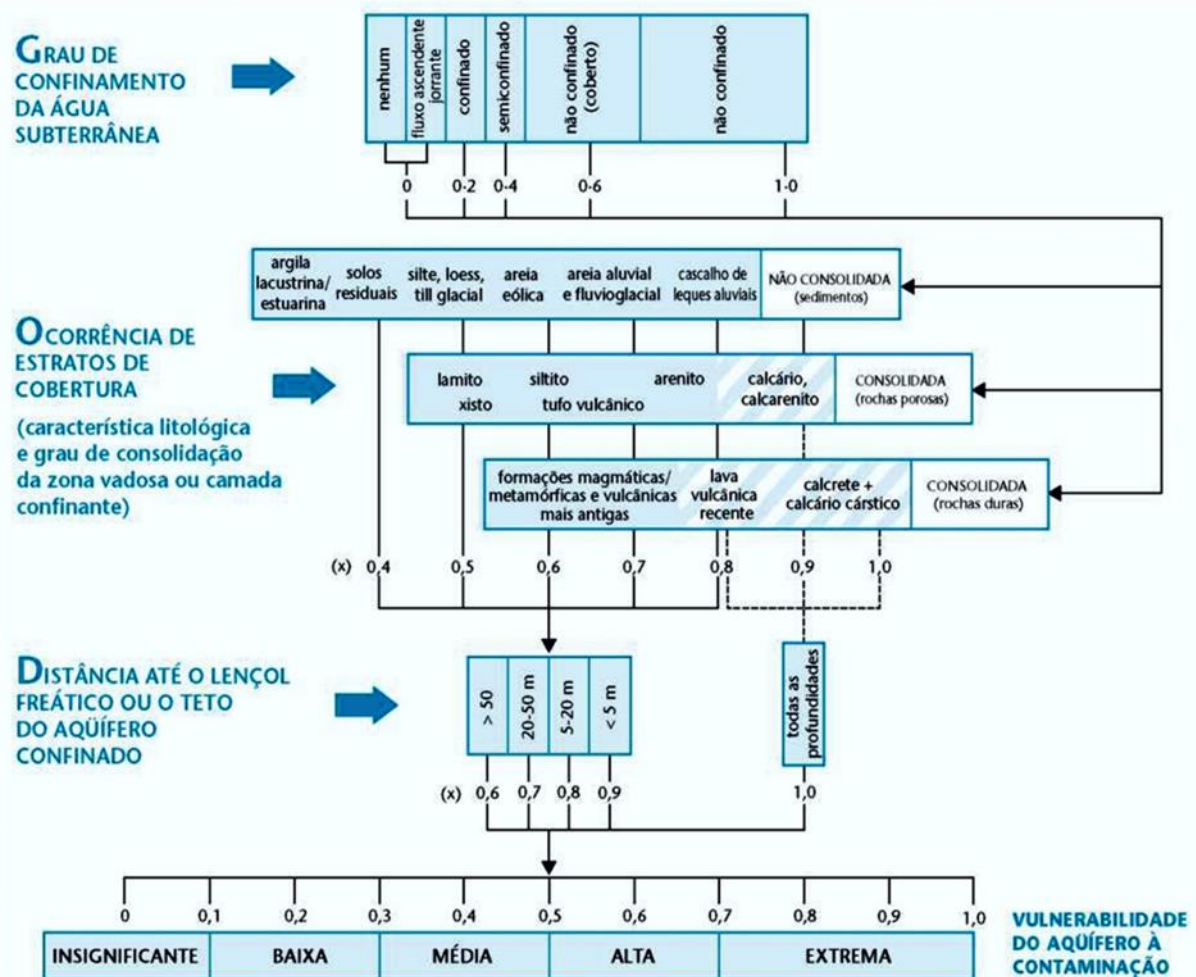
Avaliação da vulnerabilidade

Uma definição para vulnerabilidade do aquífero à contaminação, é considera-lo como um conjunto de características intrínsecas dos estratos que separam o aquífero saturado da superfície do solo, o que determina sua acessibilidade aos efeitos adversos de uma carga contaminante aplicada na superfície (FOSTER, 1987).

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) (Vide Figura 02).

Figura 02 – Método de vulnerabilidade de aquíferos GOD.



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

A metodologia empírica GOD envolve a indexação das características descritas conforme disposição na Figura 02. O índice final de vulnerabilidade pode ser quantificado a partir do produto dos três índices avaliados. O resultado final admite uma classificação da vulnerabilidade em insignificante, baixa, média, alta e extrema.

O índice baixo significa que o aquífero é vulnerável a compostos extremamente móveis e persistentes, como sais, nitratos e alguns solventes organo-sintéticos. O índice médio indica que o aquífero é susceptível a contaminantes moderadamente móveis e persistentes, como hidrocarbonetos halogenados, alguns metais pesados e sais menos solúveis. O índice alto indica a sensibilidade do aquífero para contaminantes degradáveis, como bactérias e vírus (HIRATA, 1994).

Sistema de análise da carga contaminante (POSH)

A metodologia de avaliação de atividades potencialmente contaminantes denominado 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).

Para o caso do lixiviado produzido por cemitérios, o POSH considera que existe um potencial reduzido de carga contaminante no subsolo. Isso porque, segundo o método, a prática de sepultamentos gera uma carga contaminante microbiológica relativamente pequena e restrita a uma certa área, independente das condições de precipitação considerada (FOSTER *et al.*, 2006).

Essa perspectiva, entretanto, parece subestimar a capacidade contaminante dos cemitérios que, segundo Żychowski (2012) e Environment Agency (2002), podem ser associadas a contaminantes persistentes e móveis como nitrato e amônia, além dos outros contaminantes potencialmente presentes e ainda pouco estudados como metais pesados e formaldeído.

Naturalmente, sem o estudo adequado de cada contaminante envolvido no processo de decomposição de corpos, é difícil obter estimativas confiáveis da composição dos efluentes gerados nas sepulturas de cemitérios brasileiros. Assim, devido à necessidade de simplificação, a caracterização da carga contaminante dos cemitérios será aqui representada pela metodologia POSH.

Gestão

A Figura 03 demonstra a abordagem multicamadas proposta nesse estudo para situações de reavaliação do impacto de cemitérios já implantados ou avaliação de propostas de implantação de novas áreas. A fase preliminar é fundamental para todos os níveis do processo de avaliação da proposta. É um diagnóstico das condições presentes no aquífero a partir de dados já disponíveis (ou imediatamente determinados) da hidrogeologia, topografia, regime de chuvas, sondagem do terreno e levantamento do nível freático ao fim da estação chuvosa. Esta etapa fornece um modelo conceitual preliminar que serve para as verificações da Resolução CONAMA 368/2006 (BRASIL, 2006), assim como, para determinação da vulnerabilidade natural do aquífero pelo procedimento GOD.

Caso as condições iniciais sejam favoráveis à implantação do cemitério mediante o crivo da Resolução CONAMA 368/2006 (BRASIL, 2006), as etapas subsequentes têm a proposta de aumentar os níveis de segurança na gestão do aquífero onde o empreendimento será instalado ou reavaliado.

Os diferentes níveis de gestão dependem, portanto, do cruzamento da vulnerabilidade do aquífero com a caracterização da carga contaminante dos cemitérios pelo método POSH, resultando na identificação do perigo de contaminação. A partir do perigo de contaminação, define-se os critérios auxiliares de gestão. A Figura 04 sumariza as possíveis ocorrências de perigo de contaminação para o caso de cemitérios.

Figura 03 – Proposta de gestão.

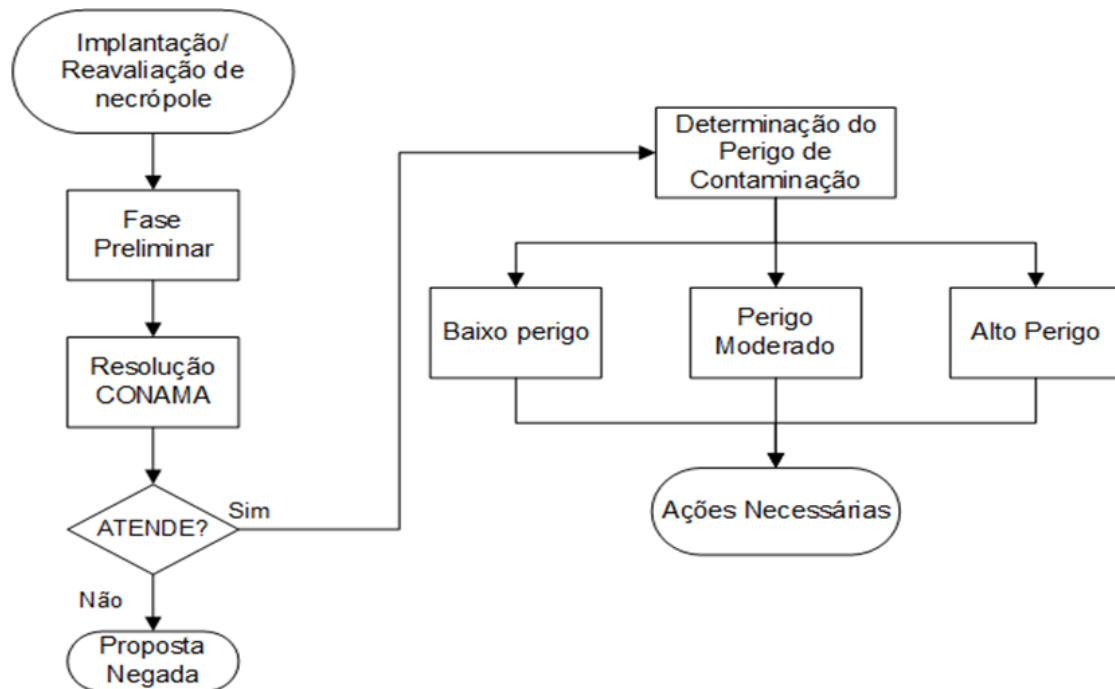
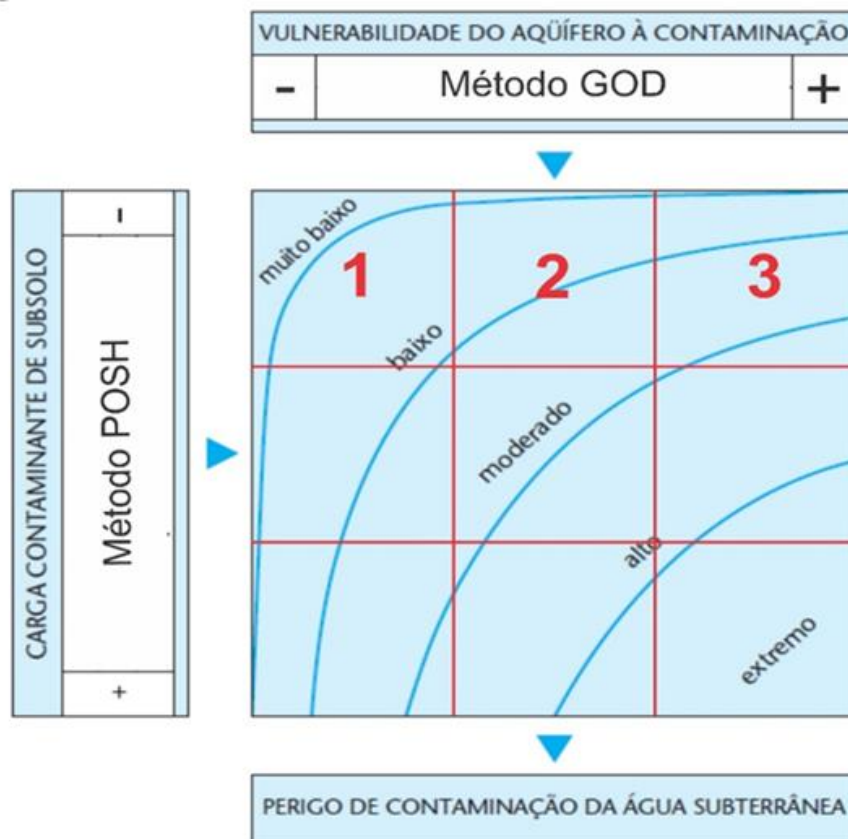


Figura 04 - Perigo de contaminação para cemitérios



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

Baixo Perigo de Contaminação (Situação 1 na Figura 04)

Considerando os três níveis prováveis de gestão da proposta do cemitério e considerando que a carga contaminante pelo método POSH é reduzida, os resultados que indiquem baixo perigo de contaminação significam que o aquífero apresenta baixa vulnerabilidade.

Em condições de baixa vulnerabilidade pelo método GOD (Figura 02), a distância até o lençol freático é alta e o solo indica baixas condições de permeabilidade na subsuperfície, ocasionando considerável capacidade de atenuação do aquífero à contaminação. Nessa situação, as condições de controle impostas pela Resolução CONAMA 368/2006 (BRASIL, 2006) parecem adequadas devido a resiliência do aquífero na localidade do projeto. Pode ser suficiente considerar as salvaguardas propostas, como manter a distância adequada de fontes de água, ainda que sejam utilizados métodos analíticos de determinação da distância de depuração da contaminação.

Perigo Moderado de Contaminação (Situação 2 na Figura 04)

Para perigo moderado de contaminação, a vulnerabilidade do aquífero segundo o método GOD, confere condições moderadas de acessibilidade à contaminação. Nesse cenário a distância do topo do terreno para o topo do lençol freático diminui e a zona vadosa oferece uma maior permeabilidade da carga contaminante ao lençol freático.

Dessa forma, aumenta-se o perigo de contaminação por contaminantes móveis e persistentes como o nitrato, além de contaminantes menos móveis como metais pesados e caracteriza uma maior acessibilidade a contaminantes mais degradáveis como os vírus e bactérias pelo aumento da permeabilidade do aquífero. Nesse caso, esses sítios devem ser submetidos a uma maior atenção por parte do órgão gestor.

Para as condições brasileiras, onde inexistente um maior conhecimento da carga contaminante de cemitérios, é importante investir no monitoramento do aquífero, acrescentando às peculiaridades do gerenciamento proposto pela Resolução CONAMA 368/2006 (BRASIL, 2006), pelo menos três novos critérios: propiciar as instalações de monitoramento de qualidade de água; determinar o programa de monitoramento dos parâmetros indicadores de contaminação; e identificar dados que possibilitem estabelecer um modelo de fluxo subterrâneo e de contaminantes.

O monitoramento deve ser realizado para definir a qualidade das águas subterrâneas e superficiais próximas antes do desenvolvimento da atividade, e fornecer um aviso imediato do impacto ambiental com a atividade em desenvolvimento. O monitoramento anterior à instalação do cemitério pode ser realizado identificando as concentrações iniciais dos parâmetros indicadores de contaminação, com especial atenção para os compostos nitrogenados (nitrato, principalmente) que podem identificar imediatamente o impacto do cemitério no aquífero segundo os critérios da Resolução CONAMA Nº 420/2009 (BRASIL, 2009).

O início da atividade pode confirmar a presença dos parâmetros de controle e introduzir outros parâmetros a serem considerados, como o formaldeído, relacionado ao processo de inumação dos corpos. Os parâmetros monitorados geram um leque de informações da interação entre águas subterrâneas, superficiais e cemitérios, melhorando o próprio processo de gestão e atualizando os critérios de investigação.

Mauro César de Brito Souza; Cleto Augusto Baratta Monteiro; Marco Aurélio Holanda de Castro.

O uso da avaliação do perigo de contaminação do aquífero como um requisito para o licenciamento ambiental de cemitérios.

Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium,

Ituiutaba, v. 6, n. 2, p. 137-153, jul./dez. 2015.

Página | 145

Em acréscimo ao monitoramento, devido à maior acessibilidade ao lençol freático, um modelo de fluxo deve ser realizado para o melhorar o entendimento do comportamento subterrâneo e a indicação de distâncias seguras para a atenuação da carga contaminante. Os modelos numéricos computacionais trabalham na atenuação das incertezas por contemplarem a maior complexidade do fluxo subterrâneo em estudo e é preferível ao uso dos métodos analíticos simplificados. A modelagem computacional, portanto, proporciona subsídios adequados para o gerenciamento dos recursos hídricos, graças à possibilidade de obtenção de cenários que favorecem a tomada de decisão (NOBRE, 2006; ASHLEY, 1994; ANDERSON; WOESSER, 1992).

Os parâmetros de campo que servem como base do modelo computacional são, em sua maioria, coincidentes com os dados básicos obtidos na fase preliminar do estudo da viabilidade ambiental do cemitério. O modelo proposto pretende determinar distâncias de autodepuração mais seguras e melhores embasadas com as características do aquífero modelado. Um exemplo de modelagem computacional de aquíferos, para investigação de casos onde existam a presença de cemitérios na área de estudo, pode ser analisado no artigo publicado por Sousa *et al.* (2010).

Alto perigo de Contaminação (Situação 3 na Figura 04)

Propostas com alto perigo de contaminação significam que estão locadas em áreas de alta vulnerabilidade segundo o método GOD. A alta vulnerabilidade indica regiões do aquífero com substrato formado por litologias de alta permeabilidade e zona insaturada insuficiente para deter a contaminação de cargas microbiológicas (HIRATA, 1994). O perigo é incrementado pelo livre acesso de contaminantes extremamente móveis e persistentes, como as variáveis de nitrogênio presentes nos cemitérios.

Nessa etapa a proposta de instalação do cemitério deve apresentar o maior aporte de dados possíveis para análise, devido a sensibilidade do aquífero freático à contaminação. O aumento do nível de informações, realizado a partir de uma investigação de detalhe, pode conferir a segurança necessária para a instalação do empreendimento ou os argumentos necessários para a sua não aceitação. Em todo caso, a segurança ambiental e da comunidade deve vir em primeiro plano.

A proposta deve ser acompanhada da taxa anual de sepultamento e estimativa da carga efluente de contaminação do aquífero. O monitoramento proposto deve ser incrementado com a maior frequência de coletas e análises de amostras da qualidade da água subterrânea antes e durante a vida útil do empreendimento. O modelo computacional do aquífero deve avançar para uma proposta mais detalhada do comportamento do fluxo subterrâneo e sua interação com variados componentes da carga contaminante potencialmente presente nas sepulturas. Idealmente, propostas que se enquadram em situações de alto perigo de contaminação devem ser negadas devido à complexidade da obtenção de dados e inexistência de estudos mais detalhados sobre a carga contaminante oriunda das sepulturas.

Estudo de caso

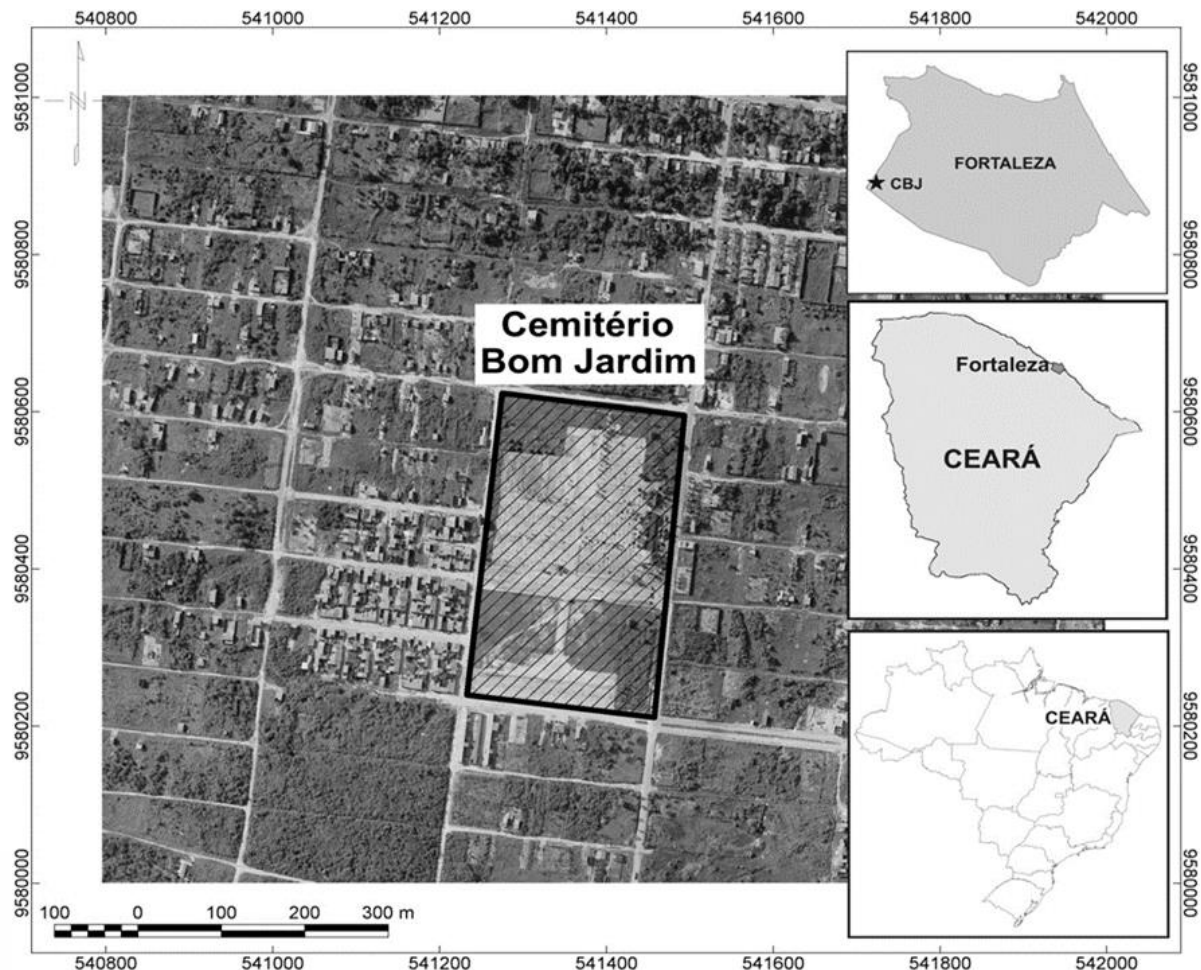
A maioria dos cemitérios brasileiros apresentam algum problema de cunho ambiental havendo a necessidade de reavaliação das suas condições segundo os critérios da

Resolução CONAMA 368/2006 (BRASIL, 2006). Para garantir maior segurança do aquífero à contaminação, propoe-se que o método de gestão aqui detalhado fosse utilizado para incrementar a avaliação da referida resolução em casos reais de cemitérios no Brasil. O cemitério utilizado nesse estudo de caso foi o cemitério Bom Jardim (Fortaleza/CE).

Cemitério Bom Jardim

O cemitério Bom Jardim, em funcionamento desde 1994, é mantido pela prefeitura municipal de Fortaleza (CE) e ocupa uma área de 0,8 km² (vide localização na Figura 05). Sua capacidade é da ordem de 51.000 sepultamentos, com 95% de sua capacidade total alcançada em meados de 2008 (CASTRO, 2008). Como na sua época de construção não existiam os critérios de licenciamento previstos pela Resolução CONAMA 368/2006 (BRASIL, 2006), aumenta-se a importância de uma reavaliação sobre os possíveis impactos ambientais no aquífero e região circunvizinha.

Figura 05 – Localização do Cemitério Bom Jardim.



Fonte: Castro (2008)

Na reavaliação proposta nesse estudo de caso, as condições do Cemitério Bom Jardim foram verificadas acerca dos critérios básicos da Resolução CONAMA 368/2006 (BRASIL,

2006) e avaliou-se o perigo de contaminação presente no empreendimento a fim de propor o nível de segurança adequado ao aquífero.

Os parâmetros analisados foram:

- Profundidade do lençol freático ao fim da estação chuvosa, considerando o nível do fundo da sepultura no cemitério Bom Jardim (critério básico de avaliação da resolução Resolução CONAMA 368/2006 (BRASIL, 2006));
- Profundidade do lençol freático considerando o nível do terreno (para avaliação da vulnerabilidade do aquífero segundo o método GOD);
- Litologias identificadas nos pontos de sondagem executados (para avaliação da vulnerabilidade do aquífero segundo o método GOD);
- Determinação da vulnerabilidade pelo método GOD;
- Caracterização da carga contaminante segundo o método POSH;
- Determinação do perigo de contaminação do cemitério.

Diagnóstico

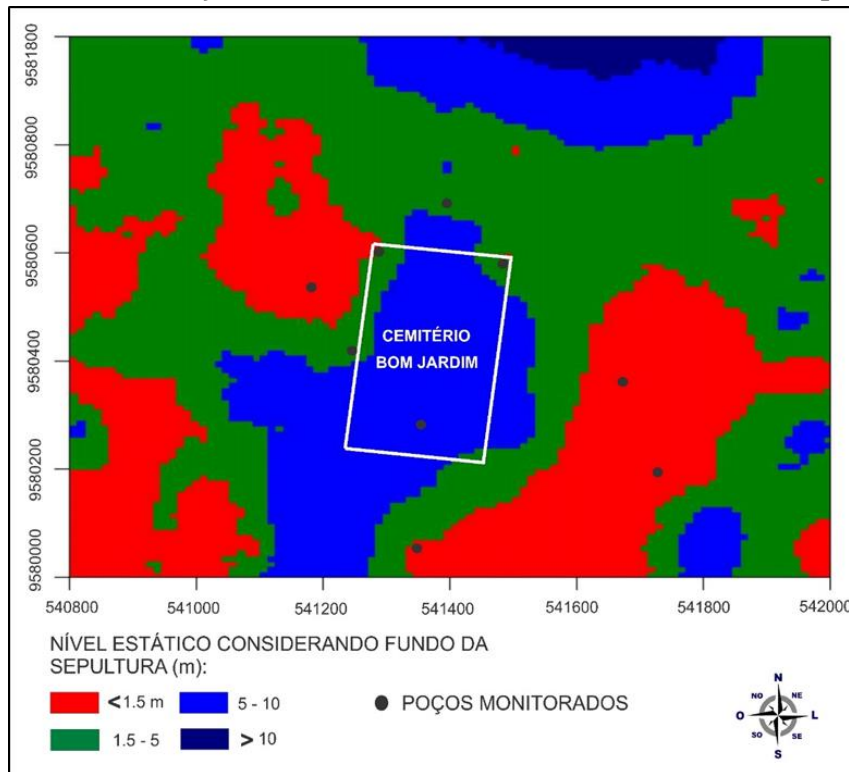
O cemitério Bom Jardim está locado no topo de uma suave elevação topográfica, com lençol freático variando de 1,5 m a 10 m de profundidade a partir do fundo das sepulturas ao final da estação chuvosa. Vide Figura 06 indicativa da distância entre o fundo da sepultura e o topo do lençol freático.

Essa indicação atende ao critério principal de análise da resolução Resolução CONAMA 368/2006 (BRASIL, 2006) para áreas que não servem de mananciais de abastecimento, em que “[...] o nível inferior das sepulturas deve estar a uma distância de pelo menos um metro e meio acima do mais alto nível do lençol freático, medindo no fim da estação das cheias.”

Analisando-se os dados para determinação da vulnerabilidade GOD do aquífero, definiu-se que o aquífero na localidade é confinado, atendendo ao índice GOD 1,0. Segundo Sousa (2010), a litologia característica da região indica condições de baixa permeabilidade, com valor médio na ordem 10^{-8} m.s⁻¹, indicativo de siltes e argilas, atendendo ao índice GOD 0,5.

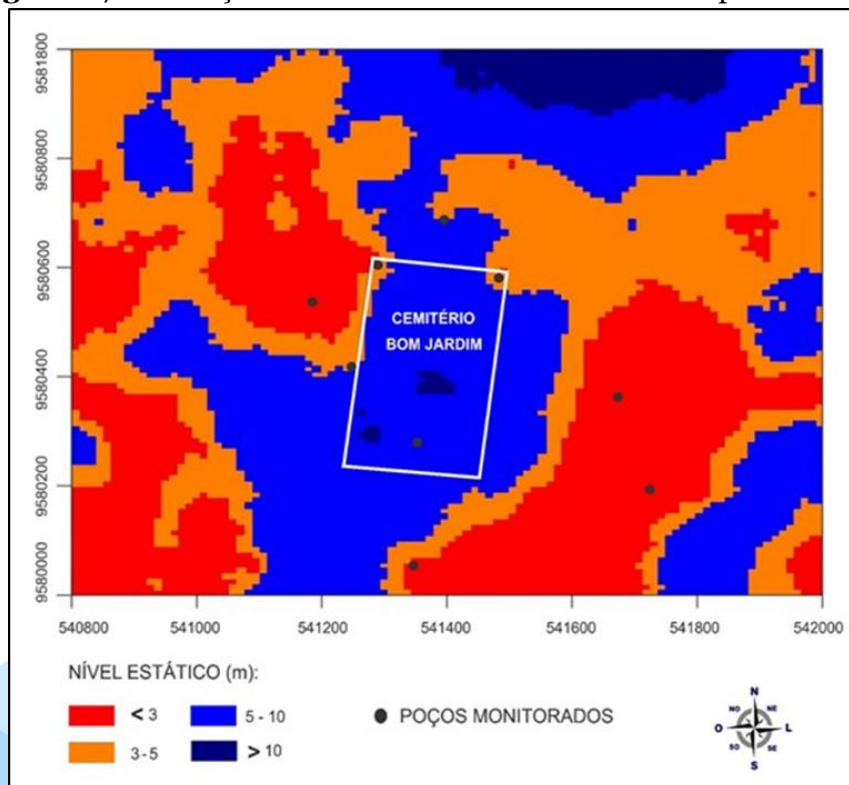
A Figura 07 indica a variação do lençol freático no fim da estação chuvosa considerando a distância entre o topo do terreno e topo do lençol freático. Para regiões onde a profundidade entre o topo do terreno ao aquífero freático é menor que 5 m, o índice GOD é 0,9. Para regiões onde a profundidade está entre 5 m e 20 m, o índice GOD é 0,8.

Figura 06 – Variação do nível estático considerando o fundo da sepultura.



Fonte: Mapa produzido a partir de dados publicados por Castro (2008).

Figura 07 – Variação do nível estático considerando o topo do terreno.



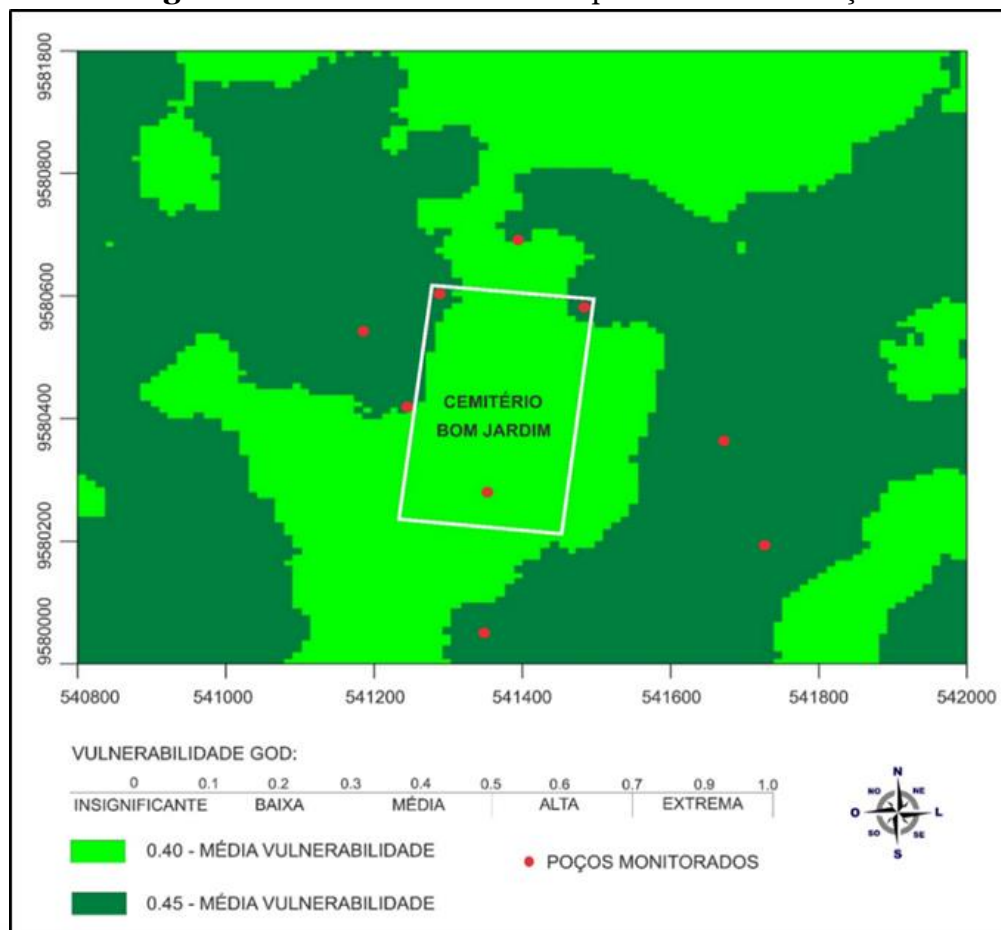
Fonte: Mapa produzido a partir de dados publicados por Castro (2008)

A Tabela 01 sumariza os índices atribuídos às características do aquífero freático na região do cemitério Bom Jardim, indicando média vulnerabilidade do aquífero à contaminação. A Figura 08 demonstra o mapa da vulnerabilidade para a região de estudo.

Tabela 01 – Parâmetros do aquífero e índices de vulnerabilidade correspondentes

| Avaliação da vulnerabilidade GOD | Ocorrência no Bom Jardim | Índice GOD |
|--|------------------------------|--------------|
| Grau de confinamento do aquífero | Inconfinado (aquífero livre) | 1,0 |
| Origem dos estrados de cobertura | Siltos e argilas | 0,5 |
| Distância até o lençol freático | (I) Menor que 5 m | 0,9 |
| | (II) Entre 5m e 20m | 0,8 |
| Índice final GOD | (I) Menor que 5 m | 0,45 |
| | (II) Entre 5m e 20m | 0,40 |
| Vulnerabilidade do aquífero à contaminação: | | MÉDIA |

Figura 08 – Vulnerabilidade do aquífero à contaminação.



Considerando, portanto, as características de baixo potencial de contaminação da carga contaminante do cemitério (segundo o método POSH) e a média vulnerabilidade do aquífero à contaminação na região, têm-se que o cemitério Bom Jardim apresenta perigo moderado de contaminação, segundo cruzamento de dados na Figura 04 e obtendo-se como reposta a situação 2. Nesse cenário, é importante definir as instalações de monitoramento de qualidade de água, determinar o programa de monitoramento dos parâmetros indicadores de

contaminação e identificar dados que possibilitem estabelecer um modelo de fluxo subterrâneo e de contaminantes.

Hipoteticamente, abordagens diferentes de gestão da contaminação para a localidade, dependeriam diretamente da variação da estimativa do perigo de contaminação. Por exemplo, caso o aquífero fosse semiconfinado, o índice final de vulnerabilidade GOD cairia sensivelmente (índice final GOD = 0,18 e GOD = 0,16), apresentando condições de baixa vulnerabilidade. Nessas condições, o aquífero apresentaria a resiliência necessária para suportar o empreendimento na região, e as proposições de salvaguarda da Resolução CONAMA 368/2006 (BRASIL, 2006) seriam de todo justificadas.

Em uma segunda hipótese, caso os solos característicos na localidade fossem areias aluviais, seriam mensuradas condições de alta vulnerabilidade para a região (índice final GOD = 0,56 e GOD = 0,63). Nessa situação, o cemitério Bom Jardim poderia apresentar um plano de funcionamento mais detalhado, segundo o especificado no item que trata do alto perigo de contaminação.

Em suma, conforme as condições apresentadas no cemitério Bom Jardim, é admissível a sua aceitação de funcionamento segundo os critérios estabelecidos pela Resolução CONAMA 368/2006 (BRASIL, 2006). Entretanto, graças a estimativa de médio perigo de contaminação para o cemitério na região, é necessário que se faça o monitoramento da interação entre carga contaminante e substrato do solo, para dirimir dúvidas sobre a possibilidade de contaminação do aquífero.

CONCLUSÃO

A necessidade de melhorias no crivo de avaliação das propostas de instalação e reavaliação das condições de funcionamento de cemitérios no Brasil é uma realidade urgente. Existe um avanço modesto nesse sentido nas propostas contidas na Resolução CONAMA 368/2006 (BRASIL, 2006). A dúvida contida em distâncias seguras entre cemitério e fontes de água só pode ser equacionada mediante um estudo criterioso da interação entre carga contaminante nas sepulturas e as mais variadas litologias presentes no Brasil.

Esse artigo demonstrou que aplicar uma segunda camada de avaliação acrescenta uma opção de segurança aos aquíferos livres e à saúde da população que inadvertidamente utiliza o lençol freático para algum fim de uso doméstico nas imediações dos cemitérios brasileiros. A identificação do perigo de contaminação das propostas de instalação e reavaliações, sugerem condições diferenciadas de gestão e um adendo importante as especificações da Resolução CONAMA 368/2006 (BRASIL, 2006).

Com o método aqui proposto, apontou-se que condições ideais de sepultamentos acontecem quando o perigo de contaminação é baixo. Existe a necessidade de monitoramento quando o perigo de contaminação é moderado, e é imperativo o estudo de detalhe, quando as propostas se enquadram em zonas com alto perigo de contaminação.

Como recomendação, sugere-se que a legislação avance no sentido de dirimir dúvidas sobre o funcionamento dos cemitérios, a sua carga contaminante e sua interação com as condições ambientais no meio onde se inserem. O método proposto nesse artigo configura-se em um passo importante na segurança ambiental de aquíferos e população no entorno de

cemitérios, e pode aproximar a gestão ambiental dessas atividades às melhores práticas realizadas em países que tratam essa questão de forma mais controlada.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, M., WOESSNER, W. **Applied groundwater modeling**: simulation of flow and advective transport. San Diego: Academic Press, Inc. 381 pp. 1992.

ASHLEY, R. P. Examples of groundwater modelling in environmental assessment studies. **Journal of the institution of water and environmental management**, v. 8, p. 635-645. 1994.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 420 de 28 de dezembro de 2009**. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Publicação DOU nº 249, de 30/12/2009, págs. 81-84.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 368, de 28 de março de 2006**. Altera dispositivos da Resolução nº 335, de 3 de abril de 2003, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. Publicação DOU nº 61, de 29/03/2006, Seção 1, págs. 149-150.

CASTRO, D. L. Caracterização geofísica e hidrogeológica do cemitério Bom Jardim, Fortaleza/CE. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 26, n. 3, p. 251-271, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-261X2008000300001>

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.

NOBRE, R. C. M. **Avaliação de risco para o uso e proteção de aquíferos**. Estudo de caso: Região metropolitana de Maceió-AL. Rio de Janeiro. Tese de Doutorado. 296 p. 2006.

SOUSA, M., HOLANDA DE CASTRO, M., LOPES DE CASTRO, D., ALENCAR NETO, M., SOUSA LOPES, B.. Computational modelling of contaminants flow in groundwater in the Bom Jardim cemetery, Fortaleza, CE, Brazil. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, 7, aug. 2012. Available at: <http://www.ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/article/view/917>.

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

Recebido em: 05/03/2015

Aceito para publicação em: 02/07/2015