

## ESTUDO DA CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO PRÓXIMO AO CEMITÉRIO AREIAS, TERESINA/PI, BRASIL

**MAURO CÉSAR DE BRITO SOUSA**

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

**MARCO AURÉLIO HOLANDA DE CASTRO**

Universidade Federal do Ceará | Brasil  
marco@ufc.br

**CLETO AUGUSTO BARATTA MONTEIRO**

Universidade Federal do Piauí | Brasil  
cleto\_baratta@hotmail.com

**GERMANA DE PAIVA PESSOA**

Companhia de Água e Esgoto do Ceará | Brasil  
germanapaiva@hotmail.com

**CLAUDIO DAMASCENO DE SOUZA**

Serviço Geológico do Brasil | Brasil  
claudioufc@gmail.com

**PALAVRAS-CHAVE:**

Água subterrânea  
Contaminação  
Cemitério

**RESUMO:**

Se inadequadamente localizados ou insuficientemente protegidos, cemitérios representam um importante problema de saúde para as pessoas. O impacto dos cemitérios sobre a qualidade das águas subterrâneas foi observado em vários países, incluindo o Brasil. Este estudo teve como objetivo avaliar os impactos sobre a qualidade das águas subterrâneas no cemitério Areias em Teresina, Estado do Piauí - Brasil. Para isso, a Norma Brasileira de Passivos Ambientais (NBR 15515) foi utilizada como ferramenta da pesquisa e as formas de nitrogênio e coliformes totais e Escherichia coli como indicadores de possível contaminação. Os resultados da análise indicam que a qualidade das águas subterrâneas no cemitério foi satisfatória.

### STUDY OF CONTAMINATION OF GROUNDWATER NEAR THE CEMETERY AREIAS, TERESINA/PI, BRASIL

**ABSTRACT:**

If inappropriately located or insufficiently protected, cemeteries pose a significant health problem for people. Impact of cemeteries on the quality of groundwater was observed in various countries including Brazil. This study aimed to assess the impacts on the quality of groundwater in the cemetery Areias in Teresina, Piauí State - Brazil. For this, we used Brazilian Standard Research of Environmental Liabilities (NBR 15515) as a tool of this research and the forms of nitrogen and total coliforms and Escherichia coli as indicators of possible contamination. The analysis results indicated that quality of groundwater in the cemetery was satisfactory.

**KEYWORDS:**

Groundwater  
Contamination  
Cemetery

**ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS CERCA DEL CEMENTERIO  
AREIAS, TERESINA, PIAUÍ**

**PALABRAS CLAVE:**

El agua subterránea  
Contaminación  
Cementerio

**RESUMEN:**

Si incorrectamente situados o insuficientemente protegida, cementerios representan un importante problema de salud para las personas. Se observó el impacto de los cementerios de la calidad de las aguas subterráneas en varios países, entre ellos Brasil. Este estudio tuvo como objetivo evaluar los impactos sobre la calidad del agua subterránea en Areias cementerio en Teresina, Piauí - Brasil. Para ello, la Norma Brasileña de Pasivos Ambientales (NBR 15515) fue utilizado como una herramienta de investigación y las formas de nitrógeno y coliformes totales y *Escherichia coli* como posibles indicadores de contaminación. Resultados de las pruebas indican que la calidad de las aguas subterráneas en el cementerio fue satisfactoria.

## INTRODUÇÃO

Uma das fontes potenciais de contaminação de mananciais subterrâneos é resultado do lançamento de lixiviados antropogênicos não controlados oriundos de cemitérios. A contaminação oriunda do lixiviado gerado na decomposição da matéria orgânica enterrada pode adentrar os espaços intragranulares do solo e encontrar o lençol freático, tornando-o poluído pelo aumento da concentração de substâncias orgânicas e inorgânicas. Do mesmo modo, há a possibilidade da pluma de contaminação ser transportada pelo fluxo subterrâneo na direção de rios, lagos e fontes nas proximidades (ÜÇISIK e RUSHBROOK, 1998; ENVIRONMENT AGENCY, 2002; ENVIRONMENT AGENCY, 2004; MARTINS et al., 1991; PACHECO, 2000; MATOS, 2001; DENT, 2005).

Estima-se 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, além da presença de indicadores de matéria orgânica e indicadores bacterianos (ENVIRONMENT AGENCY, 2004).

Segundo Matos (2001), no processo de decomposição da matéria orgânica enterrada, o amônio pode ser gerado pela hidrólise das moléculas orgânicas em condições anaeróbias. E, em caso de situações aeróbias, a matéria orgânica pode ser oxidada e o amônio pode então ser transformado em nitrato. Além disso, a carga biológica presente no lixiviado oriundo do cemitério, compõe-se de um ecossistema de microrganismos de risco potencial ao meio ambiente, capaz de viajar via fluxo subterrâneo e contaminar as imediações.

Em um contexto global, varios casos de contaminação do lençol freático foram relatados e relacionados à presença de necrópoles em áreas inadequadas e próximas a comunidades urbanas. Há, por exemplo, os casos clássicos mencionados por Bouwer (1978), sobre a ocorrência de maior incidência de febre tifoide em pessoas que viviam perto de um cemitério em Berlim em 1867, e a ocorrência de odor fétido em águas de poços nos arredores de cemitérios em Paris.

Na Austrália, estudos de Dente Knight (1998), mostraram que as águas interiores aos limites dos cemitérios em estudo apresentaram concentrações mais elevadas de nitrogênio, fósforo e bactérias, indicando que os produtos de decomposição são mensuráveis e que podem ter alguma influência em outras partes do ambiente.

No Brasil a problemática de áreas contaminadas e o seu impacto a os aquíferos não tem sido considerada de forma mais efetiva, e devido à falta de reconhecimento do problema, não existem aparatos adequados que possam gerir satisfatoriamente os impactos aferidos nessa seara (SPÍNOLA, 2011). Segundo boletim técnico da ABAS (2001), no Brasil, praticamente a totalidade dos cemitérios municipais apresentam algum problema de cunho ambiental ou sanitário.

Martins et al. (1991) analisaram águas subterrâneas de três cemitérios localizados em São Paulo e concluíram que as águas não apresentavam condições higiênicas satisfatórias e, em alguns casos, com elevados níveis de nitrato (75,7 mgL-1). Matos (2001) observou o aumento nas concentrações de coliformes totais e fecais em áreas mais próximas dos sepultamentos recentes, localizadas em cotas mais baixas e próximas ao nível freático. Marinho (1998) pesquisou o cemitério São João Baptista na cidade de Fortaleza (CE), onde a partir de análises físico-químicas e bacteriológicas em poços de monitoramento foi possível identificar a presença de bactérias e compostos nitrogenados.

No cemitério Areias, localizado na zona urbana de Teresina (PI), existe a suspeita de contaminação do lençol freático e manancial de abastecimento local. Apesar disso, pouco foi realizado para aferir a gravidade da situação, pela falta de consenso sobre os métodos de confirmação da contaminação a serem utilizados.

Segundo Silva; Malagutti Filho (2008), os cemitérios foram tradicionalmentedesconsiderados nas listas de fontes de contaminação ambiental brasileiras. Essa peculiaridade gera muitas dúvidas sobre a forma adequada de verificação da contaminação e prevenção ao surgimento de novas áreas contaminadas por essa atividade.

Assim, esse trabalho propôs a investigação da contaminação no aquífero subjacente à área do cemitério Areias. A fim de identificar os mecanismos poluidores, avaliar se esses mecanismos podem caracterizar a contaminação no aquífero e aferir o uso das normas de investigação de passivos ambientais (ABNT NBR 15515) para a contaminação ocasionada por cemitérios.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

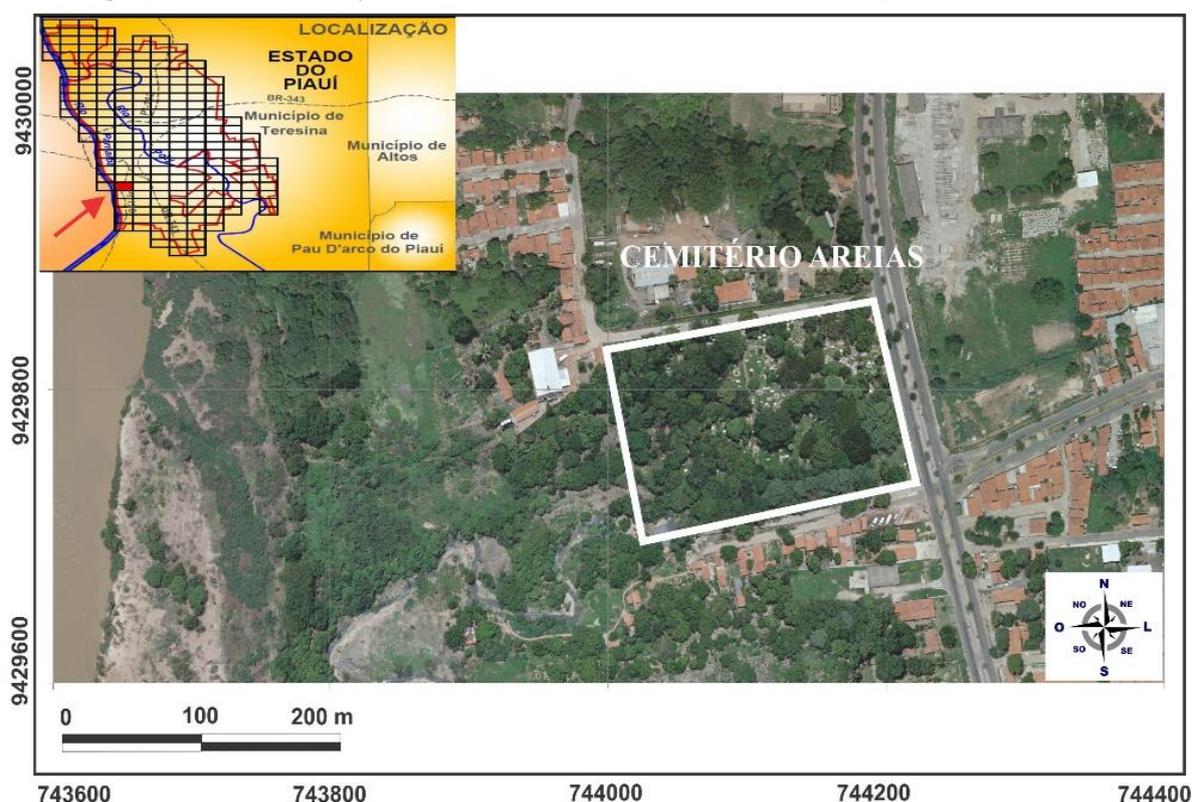
### ***Caracterização da área de estudo***

Na Figura 01 é apresentada a caracterização da área de estudo selecionada. O cemitério Areias está situado na margem direita do Rio Parnaíba, em zona urbana, na região sul da cidade de Teresina e a montante do ponto de captação de água superficial para abastecimento público.

A base geológica do município de Teresina corresponde às formações Piauí e Pedra de Fogo, pertencentes à uma estrutura geológica de dimensões regionais conhecida por Bacia Sedimentar do Piauí-Maranhão, que contém 80 % do Estado do Piauí. Entre as unidades de solo predominam o Latossolo Vermelho-Amarelo e o Podzólico Vermelho-Amarelo. O Latossolo Vermelho-Amarelo é situado em uma faixa paralela ao rio Parnaíba, com uma largura média de 10 km, ocorrendo com grande profundidade, boa drenagem, nível muito baixo de fertilidade natural e acidez muito forte. (TERESINA, 2002).

A temperatura média mensal sofre pouca oscilação ao longo do ano, com temperatura média de 29,3 °C nos meses mais quentes (de outubro a novembro) e temperatura média anual de 27,7 °C. 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 e 24,4% restantes nos oito meses subsequentes. (TERESINA, 2002).

**Figura 01** – Localização do Cemitério Areias na Zona UTM 23, Teresina – Piauí.



### ***Avaliação de passivo ambiental***

A avaliação da contaminação das águas subterrâneas segue as recomendações da NBR 15515 parte 1 e 2 (ABNT, 2007b; ABNT, 2011). O passivo ambiental em solo e água subterrânea foi averiguado segundo os procedimentos da avaliação preliminar (ABNT,2007b) e investigação confirmatória da contaminação (ABNT,2011).

### ***Avaliação preliminar***

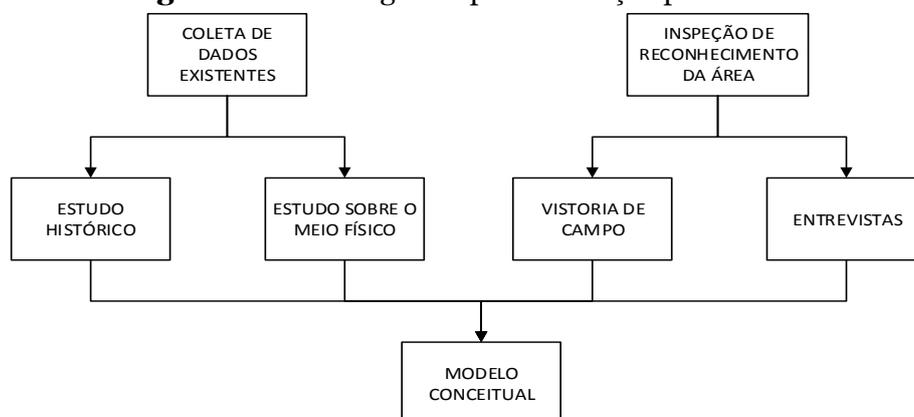
Na avaliação preliminar foram identificadas informações sobre as feições da topografia local, a posição do cemitério no relevo, o indicativo da hidrogeologia e possíveis bens a proteger. Essas informações serviram para a proposição de um modelo conceitual inicial indicando as fontes potenciais de contaminação, as vias de transporte e os receptores da contaminação. A figura 02 apresenta os procedimentos da avaliação preliminar.

Além disso, foi determinada a disposição dos pontos de instalação dos poços de monitoramento de água e posicionamento das sondagens para determinação da estratigrafia do terreno.

O posicionamento dos poços de monitoramento foi ajustado às zonas livres de sepultamento, considerando um ponto à montante do escoamento dentro do cemitério (determinante das condições naturais das águas subterrâneas) e pontos de jusante para captura da pluma contaminante.

Os pontos de sondagem foram locados analisando também as zonas livres de sepultamento, considerando um ponto para a caracterização da região de montante do cemitério, um segundo ponto para a caracterização da região central e um terceiro ponto para a caracterização da região de jusante da necrópole.

**Figura 02** – Fluxograma para avaliação preliminar.

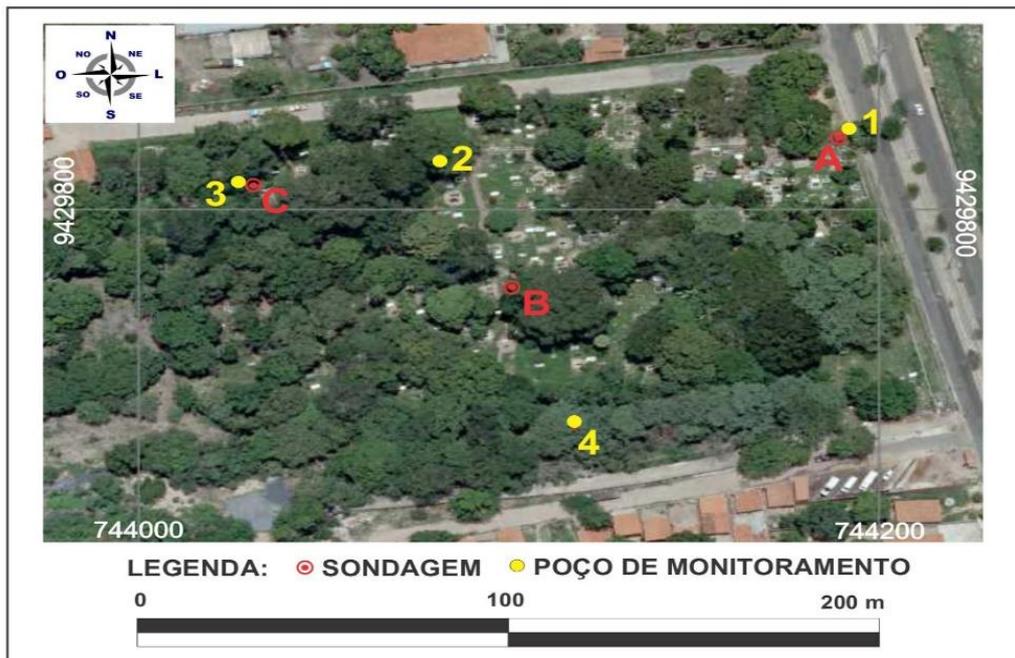


**Fonte:** ABNT,2007b.

Tanto os poços quanto as sondagens foram locados nos limites internos do cemitério, para evitar possíveis contratempos com o acesso a terrenos de terceiros e garantir a segurança das instalações dos poços de monitoramento e equipe de coleta. A localização dos pontos de sondagem e monitoramento são apresentados na Figura 03.

A partir do modelo conceitual inicial foi realizada a investigação confirmatória com o intuito de determinar a existência ou não da contaminação na área de estudo. De forma geral, a investigação foi realizada considerando parâmetros de qualidade das águas subterrâneas e comparando-os com valores de referência estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 420/2009.

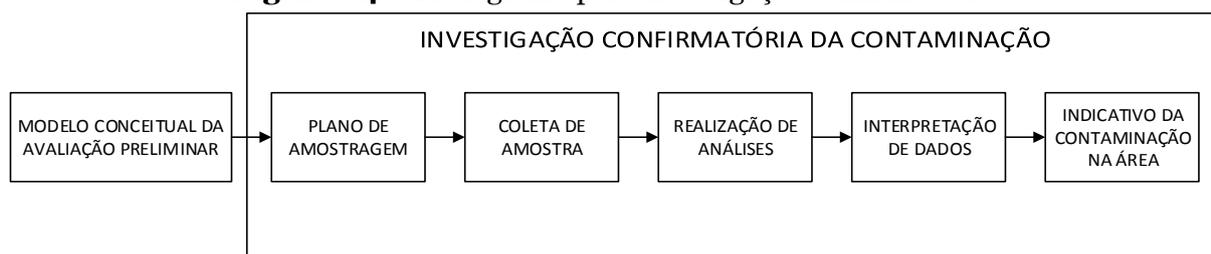
**Figura 03** – Distribuição espacial das sondagens e poços de monitoramento.



### *Investigação confirmatória*

Para a etapa de investigação confirmatória foram instalados poços de monitoramento, identificada a litologia da área, foram definidas as substâncias químicas de interesse, assim como o número de campanhas de amostragem, foram coletadas amostras de água e realizadas análises e interpretação dos resultados. Na Figura 04 é apresentado o fluxograma para a realização da investigação confirmatória.

**Figura 04** – Fluxograma para investigação confirmatória.



### *Poços de monitoramento*

Foram executados 4 poços de monitoramento para obtenção de dados representativos da qualidade da água subterrânea na localidade e profundidade do nível estático no período de observação determinado (Pontos 1, 2, 3 e 4 – Figura 03). O projeto e construção de cada um dos poços obedeceu os critérios da NBR 15495-1 (ABNT, 2007a) e sua distribuição na área seguiu o modelo conceitual previamente definido na etapa de avaliação preliminar.

Cada furo foi realizado com uso de equipamento de sondagem a percussão de simples reconhecimento, garantindo a ultrapassagem da linha do lençol freático e adentrando o

regolito local até a profundidade de 6 m. Posteriormente foram introduzidos tubos PVC PBA DN 50, com comprimento de 5 m, tampão na ponta inferior e filtros no último metro para permitir a entrada da água e impedir a penetração de impurezas.

### ***Sondagem do terreno***

Foi realizada uma campanha de sondagem à percussão de simples reconhecimento para a determinação da estratificação do terreno na região interior do cemitério Areias. A distribuição dos furos seguiu as orientações do modelo conceitual definido na etapa da avaliação preliminar, com um furo de montante com 10,45 m de profundidade (Ponto A - Figura 03), um furo no centro do cemitério de 7,45 m de profundidade (Ponto B - Figura 03) e um furo de jusante de 10,45 m de profundidade (Ponto C - Figura 03).

### ***Substâncias químicas de interesse***

Segundo a NBR 15515-2 (ABNT, 2011), as substâncias químicas devem ser escolhidas dentre os contaminantes que podem ocorrer na área de estudo, observando-se preferencialmente, as substâncias químicas que possuam valores orientadores definidos, com o objetivo de facilitar a interpretação dos resultados.

Estudos indicam que as formas de nitrogênio (nitrato e nitrogênio amoniacal) são os principais poluentes observados em áreas impactadas por cemitérios. Além disso, a presença de bactérias coliformes é comumente considerada como indicador de contaminação por material orgânico em águas subterrâneas (ENVIRONMENT AGENCY, 2004; ENVIRONMENT AGENCY, 2002; MARTINS et al., 1991).

Assim, e considerando a condição de parâmetro referenciado na Resolução CONAMA N° 420/2009, utilizou-se o nitrato como parâmetro indicador da contaminação do cemitério ao aquífero freático em estudo. Também foram analisadas as variáveis Coliformes Totais e *Escherichia coli* (*E. coli*) para aferir possíveis indicadores da contaminação por decomposição de corpos enterrados na localidade. A amônia foi utilizada como um indicativo das condições sanitárias do aquífero livre. O pH das amostras foi determinado porque explica os diferentes limites de amônia estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 357/2005 para águas classe 3.

### ***Número de campanhas***

De acordo com a NBR 15515-2 (ABNT, 2011), uma única campanha de amostragem é normalmente necessária na etapa de investigação confirmatória. Excepcionalmente, outras campanhas podem ser realizadas para confirmação dos resultados ou para complementar a campanha anterior.

O período de amostragem foi de novembro de 2012 a outubro de 2013, conforme apresentado no cronograma que consta nas tabelas de 01 a 05. Foi averiguada a hipótese de que os contaminantes poderiam acumular-se no solo durante os meses mais secos (junho a novembro) e serem lixiviados no período de recarga do aquífero (metade de dezembro a

maio), tornando-os mais facilmente disponíveis a serem carregados para as águas subterrâneas.

### ***Coleta das amostras e realização das análises***

As coletas foram realizadas através de um amostrador descartável de água subterrânea (*bailer*), construído em polietileno de alta densidade, com diâmetro de 41 mm e comprimento 1000 mm. As amostras foram transferidas para frascos apropriados, armazenados em caixa térmica com gelo e enviadas no prazo de 01 hora ao laboratório de análises químicas da Agespisa (Águas e Esgotos do Piauí SA).

As análises seguiram as diretrizes gerais do *Standard Methods for the Examinations of Water and Wastewater (APHA, 2009)* e os resultados foram comparados com a lista de valores orientadores da Resolução CONAMA N° 420/2009, com os padrões de potabilidade da água indicados na Portaria N° 2914/2011 do Ministério da Saúde e também, comparados à Resolução CONAMA N° 357/2005.

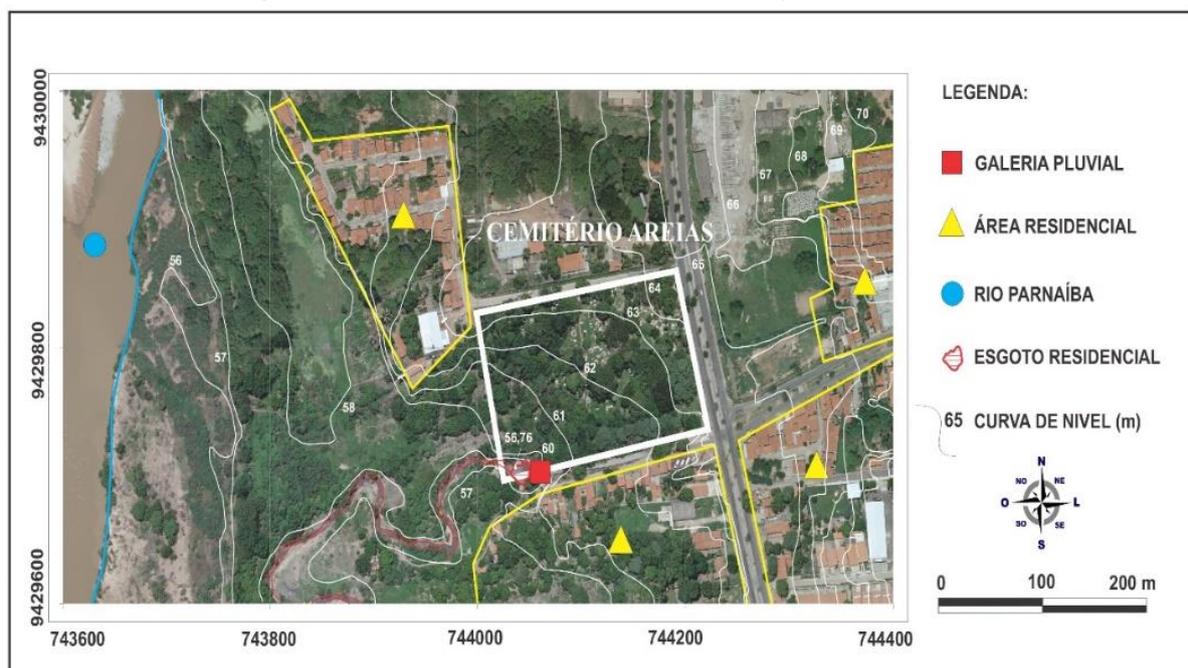
## **DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

### ***Modelo conceitual da investigação preliminar***

Na Figura 05 é apresentado o modelo conceitual da avaliação preliminar para o cemitério de Areias. Segundo observação da topografia local, o escoamento das águas superficiais ocorre na direção do Rio Parnaíba, com tendência Leste-Sudoeste na região interna do cemitério Areias. No limite sudoeste da necrópole, as feições do terreno são bruscamente alteradas pelas águas de uma galeria pluvial, ocasionando um processo erosivo que pode receber parte do deflúvio gerado na área interna do cemitério Areias e encaminhá-lo ao Rio Parnaíba.

Sobre o comportamento do aquífero livre, segundo Heath (1983), o fluxo da superfície freática pode ser uma réplica atenuada da variação da superfície topográfica. Assim, pode-se admitir um fluxo subterrâneo com sentido leste-sudoeste na região interna do cemitério Areias, com parte do aquífero livre conectando-se com as águas despejadas pela galeria.

**Figura 05** – Modelo Conceitual da Avaliação Preliminar.



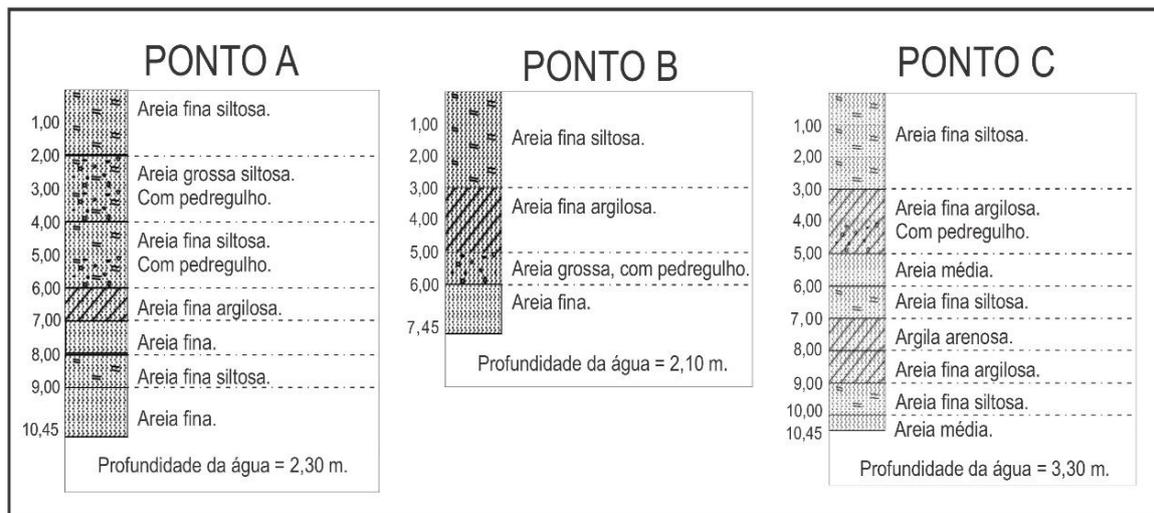
### ***Investigação confirmatória da contaminação***

#### ***Distribuição das litologias***

Segundo resultado das litologias dispostos na Figura 06, no cemitério Areias, a sobreposição de areias com diferentes granulometrias caracteriza uma permeabilidade facilitadora de uma possível contaminação do aquífero pela decomposição dos corpos presentes nas sepulturas. Essa pluma contaminante pode encontrar o lençol freático e percolar para camadas mais profundas do substrato saturado, ou, pode percolar horizontalmente em direção ao Rio Parnaíba.

Segundo Üçisik; Rushbrook (1998), os padrões esperados de litologias em cemitérios devem conter uma mistura de argila e areia de baixa porosidade. Essas características, ausentes no cemitério Areias, aumentam a capacidade de filtração e adsorção do solo, tornando-o apto à remoção do lixiviado na água infiltrada e maximizando a retenção dos produtos de degradação.

**Figura 06** – Colunas de solo dos furos de sondagem realizadas no cemitério Areias.



### ***Nível de água nos poços de monitoramento***

Conforme resultados apresentados na Tabela 01, pode ser observado que no período final da estação seca de Teresina (28 de novembro de 2012), o nível do lençol freático apresentou-se com profundidade de 3,35 m na região central do cemitério (poço de monitoramento P2 – Figura 03) e 2,92 m na porção sul (poço de monitoramento P4 – Figura 03).

Ao final da estação chuvosa (maio de 2013), o nível do lençol freático alcançou a profundidade mais próxima do topo do terreno, variando de 2,33 m no poço de monitoramento P2 e 1,88 m no poço de monitoramento P4. Essa variação no lençol freático indica condições inapropriadas para sepultamentos na região, pois existem poucos centímetros de zona não saturada entre o fundo da sepultura (profundidade característica de 1,50 m) e o topo do lençol freático. Observa-se na Tabela 02, que ao final do período chuvoso (maio de 2013), há 0,83 m de zona insaturada no poço P2 e apenas 0,38 m no poço P4.

A zona não saturada sob um cemitério aumenta a possibilidade de atenuação dos contaminantes e maximiza a remoção de bactérias e vírus (ÜÇISIK; RUSHBROOK, 1998). Dada as condições registradas no cemitério Areias, essa camada apresenta uma espessura reduzida ao fim das estações chuvosas e pode facilitar a vulnerabilidade das águas subterrâneas à contaminação.

**Tabela 01** – Profundidade do aquífero freático no cemitério Areias.

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

**Tabela 02** – Profundidade do aquífero freático considerando o fundo da sepultura.

Datas das observações	Poços de Monitoramento			
	P1	P2	P3	P4
28 de novembro de 2012	2,36	1,85	2,35	1,42
10 de dezembro de 2012	2,27	1,68	2,34	1,33
14 de janeiro de 2013	2,07	1,11	2,22	1,00
18 de fevereiro de 2013	1,71	1,22	1,92	0,65
11 de março de 2013	1,74	1,28	1,94	0,75
13 de maio de 2013	1,17	0,83	1,47	0,38
10 de junho de 2013	1,48	1,23	1,6	0,74
15 de julho de 2013	1,76	1,34	2,00	0,82
12 de agosto de 2013	2,07	1,48	2,16	0,95
09 de setembro de 2013	2,12	1,57	2,14	0,98
14 de outubro de 2013	2,24	1,65	2,32	1,13

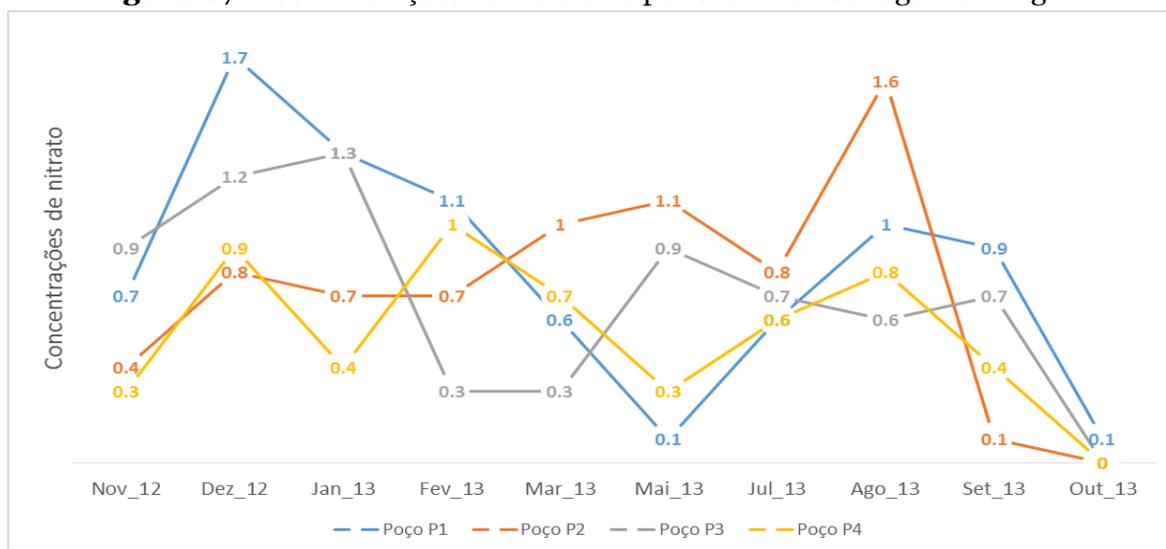
(\*) Considerando sepultura com profundidade de 1,50 metros.

## Nitrato

A forma de nitrato está associada à doença metahemoglobinemia, que ataca bebês e dificulta o transporte de oxigênio na corrente sanguínea. Por esta razão, a Portaria N° 2914/2011 (padrões de potabilidade da água) estabelece o limite de 10 mgL<sup>-1</sup> para as concentrações de nitrato em águas de consumo. Em águas subterrâneas, a Resolução CONAMA 420/2009, estabelece a concentração de 10 mgL<sup>-1</sup> como valor limite a partir do qual, caso seja ultrapassado, pode-se considerar o manancial contaminado.

Os resultados apresentados na figura 07 indicam que há uma tendência de elevação das concentrações de nitrato nas águas subterrâneas logo no início do período chuvoso, no mês de dezembro de 2012. Essa tendência parece confirmar a hipótese de que nitratos disponíveis na subsuperfície poderiam ser lixiviados no período de recarga do aquífero, aumentando a sua disponibilidade no aquífero livre. Apesar do incremento observado, os resultados mostram que as concentrações de nitrato não atingiram o valor limite de 10 mgL<sup>-1</sup>, caracterizando a não contaminação do aquífero livre.

**Figura 07** – Concentrações de nitrato no período de amostragem em mgL-1.



### Amônia

A amônia está presente nos corpos d'água como produto da degradação de compostos orgânicos e inorgânicos do solo e da água. É comumente associada à poluição recente do corpo hídrico, pelo contato com descargas de efluentes domésticos e industriais. A detecção de amônia no aquífero subjacente ao cemitério Areias, poderia revelar tanto a possibilidade de uma pluma de contaminação recente oriunda dos túmulos, como uma conexão do manancial subterrâneo com a galeria pluvial que despeja esgoto bruto nas imediações do cemitério.

Segundo os parâmetros de potabilidade indicados pela Portaria N° 2914/2011, limita-se em 1,5 mgL-1 a concentração máxima de amônia visando atenuar os problemas relacionados a odor da água em consumo.

Conforme resultados apresentados na tabela 03, os valores de amônia total na sua forma livre permaneceram abaixo de 1,5 mgL-1 em 80 % (32 amostras) dos resultados amostrados. Não ficou claro o que ocasionou o aumento das concentrações para valores acima do limite de 1,5 mgL-1, em apenas 08 dos resultados demonstrados. Isso porque, não houve enterros no intervalo das amostragens e uma possível conexão com uma fonte de efluentes deveria interferir também nos demais resultados.

Os valores de pH aferidos nas amostras permaneceram menores que 7,5 durante toda a campanha. Segundo a Resolução CONAMA N° 357/2005, para águas classe 3 e pH menor do que 7,5, é aceitável um valor limite de amônia de 13,3 mgL-1. Segundo consta na tabela 03, esse valor não foi alcançado nas amostras coletadas.

É razoável propor que a amônia não apresenta impacto ao manancial subterrâneo, não havendo evidências de uma pluma contaminante sendo gerada continuamente nos túmulos ou que haja o impacto contínuo de qualquer outra fonte de contaminação que possa existir nas imediações.

**Tabela 03** – Resultados das concentrações de amônia total (mgL<sup>-1</sup>) nas amostras.

Datas das observações	Poços de Monitoramento			
	P1	P2	P3	P4
28 de novembro de 2012	1,40	12,80	0,50	3,10
10 de dezembro de 2012	0,20	0,60	0,70	0,90
14 de janeiro de 2013	0,04	0,00	0,72	0,00
18 de fevereiro de 2013	1,90	1,00	1,40	2,90
11 de março de 2013	3,30	1,90	5,80	2,50
13 de maio de 2013	0,10	0,50	1,00	0,50
15 de julho de 2013	0,80	1,50	0,60	0,80
12 de agosto de 2013	0,30	0,20	0,00	1,30
09 de setembro de 2013	0,00	0,30	0,40	0,30
14 de outubro de 2013	0,00	0,10	0,80	0,30

### ***Coliforme Totais e E. coli***

Os resultados apresentados na tabela 04 apontam para a ocorrência de coliformes totais nas amostras de água colhidas no cemitério Areias. Foi observado o aumento da ocorrência de coliformes totais a partir do início do período chuvoso (10 de dezembro de 2012). Nesse período, o lençol freático ficou mais próximo da superfície, aumentando a probabilidade de contato entre o manancial e possíveis agentes contaminantes na subsuperfície e superfície do solo.

Apesar da ocorrência de coliformes totais nas amostras analisadas, é difícil relacioná-la ao impacto prioritário do cemitério na região. É possível que a falta de saneamento nas redondezas colabore com o aporte de microrganismos disponíveis no lençol freático no período de recarga do aquífero.

Também, conforme discutido em Sperling (2005), os coliformes totais podem ser entendidos como coliformes ambientais, tendo sido encontrados tanto em fezes de seres humanos e outros animais de sangue quente, mas também em águas e solos não contaminados. Assim, a sua ocorrência nas amostras de água no cemitério Areias, podem não significar necessariamente a contaminação do aquífero.

**Tabela 04** – Resultados dos coliformes totais (NMP.100 mL<sup>-1</sup>) nas amostras.

Datas das observações	Poços de Monitoramento			
	P1	P2	P3	P4
28 de novembro de 2012	26	100	>2400	1400
10 de dezembro de 2012	14000	200	14000	17000
14 de janeiro de 2013	>2400	410	>2400	>2400
18 de fevereiro de 2013	>2400	>2400	>2400	>2400
11 de março de 2013	>2400	610	>2400	>2400
13 de maio de 2013	310	250	200	1100
15 de julho de 2013	>2400	>2400	14000	14000
12 de agosto de 2013	190	>2400	>2400	>2400
09 de setembro de 2013	>2400	5,2	>2400	>2400
14 de outubro de 2013	>2400	<1	460	520

Sobre o *E. coli*, consolida-se no meio técnico o monitoramento de sua existência em água bruta, como forma de avaliar a probabilidade da presença de protozoários e outros patógenos (LIBÂNIO, 2010).

Na tabela 05 são apresentados os resultados de *E. coli* aferidos nas amostras de água. A ausência de *E. coli* em 95 % das amostras analisadas, representadas nos resultados pelo Número Mais Provável (NMP) < 1, pode inferir que existe uma possibilidade diminuta da existência de patógenos oriundos do cemitério no aquífero livre.

Segundo Libânio (2010), os organismos patogênicos são incapazes de viver em sua forma adulta ou reproduzir-se fora do indivíduo que lhe serve de hospedeiro. Assim, de acordo com os resultados apresentados, é igualmente diminuta, a possibilidade de uma pluma de microrganismos patogênicos oriunda das sepulturas atingir as imediações do cemitério com doses infectantes e ocasionar algum risco de contaminação ao Rio Parnaíba.

Tabela 05 – Resultados da presença de *E. coli* (NMP.100 mL-1) nas amostras.

Datas das observações	Poços de Monitoramento			
	P1	P2	P3	P4
28 de novembro de 2012	<1	<1	1	<1
10 de dezembro de 2012	100	<1	100	<1
14 de janeiro de 2013	<1	<1	<1	<1
18 de fevereiro de 2013	<1	<1	<1	<1
11 de março de 2013	<1	<1	<1	<1
13 de maio de 2013	<1	<1	<1	<1
15 de Julho de 2013	<1	<1	<1	<1
12 de agosto de 2013	<1	<1	<1	<1
09 de setembro de 2013	<1	<1	<1	<1
14 de outubro de 2013	<1	<1	<1	<1

### Diagnóstico

A baixa ocorrência de indicadores de contaminação no aquífero livre do cemitério Areias, pode ser justificada pelo fechamento do cemitério para novos sepultamentos desde o ano de 2004. Nesse período foi levantada a hipótese de contaminação do lençol freático e Rio Parnaíba pelo lixiviado oriundo das sepulturas. Segundo a Environment Agency (2004), um cadáver humano se decompõe de 10 a 12 anos e estima-se que mais da metade da carga poluente lixivia no primeiro ano, restando menos de 0,1 % da carga original contaminante após 10 anos. Essa premissa pode explicar o porquê de concentrações tão baixas de nitrato e amônia na região.

Sobre a pequena detecção de microrganismos (notadamente *E. coli*), estudos indicam que a subsuperfície (zona vadosa) funciona como uma linha de defesa até a chegada do topo do lençol freático, degradando rapidamente microrganismos patogênicos. Essa linha de defesa é caracterizada pelo seu ambiente físico-bioquímico, que é mais favorável à eliminação e à atenuação de poluentes por diferentes processos, como a filtração, a sorção, a biodegradação e a oxidação/redução química (ÜÇİSIK; RUSHBROOK, 1998; ENVIRONMENT AGENCY, 2002; ENVIRONMENT AGENCY, 2004; HIRATA, 1994; DENT, 2002).

Assim, avalia-se que o aquífero freático sobre o cemitério Areias não apresenta sinais de contaminação oriunda da decomposição de corpos humanos enterrados na localidade,

acrescentando-se que dificilmente exista uma pluma de contaminação capaz de impactar também o Rio Parnaíba. Entretanto, observou-se que a pequena profundidade do lençol freático e a presença de solo arenoso com alta permeabilidade, podem ocasionar condições que sugerem um perigo de contaminação caso o cemitério seja reaberto. Nesse caso, deve-se observar com cuidado os pré-requisitos de licenciamento definidos segundo a Resolução CONAMA N° 335/2003.

## CONCLUSÃO

Este trabalho conclui que dificilmente exista contaminação no aquífero freático subjacente ao cemitério Areias. Os dados de qualidade de água analisados também indicam que é improvável a existência de uma pluma contaminante oriunda do cemitério, capaz de contaminar as redondezas e o Rio Parnaíba.

Do mesmo modo, atestou-se que a utilização do método de investigação de passivo ambiental em águas subterrâneas aliado aos parâmetros adequados de monitoramento da contaminação por cemitérios, podem fornecer um diagnóstico adequado de aquíferos freáticos impactados por necrópoles.

Sabe-se que a maioria dos cemitérios brasileiros foram construídos antes das regulamentações da Resolução CONAMA N° 335/2003, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. Essa peculiaridade denuncia a necessidade de um amplo inventário das condições ambientais das necrópoles no Brasil. Esta pesquisa pôde contribuir com a demonstração de procedimentos e hipóteses capazes de suprir essa demanda.

## REFERÊNCIAS

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

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Passivo ambiental em solo e água subterrânea** – Avaliação Preliminar. ABNT NBR 15515-1, 2007b.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Passivo ambiental em solo e água subterrânea** – Investigação Confirmatória. ABNT NBR 15515-2, 2011.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulados**. Parte 1: Projeto e construção. ABNT NBR 15495-1, 2007a.

APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed. **American Public Health Association**, Washington DC, 2009.

BOUWER, H. **Groundwater hydrology**. New York: McGraw-Hill Book, 1978. 480 p.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução n° 335/2003**. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. Publicação DOU n°101, de 28 de maio de 2003, págs. 98-99.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução n° 420/2009**. 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

Mauro César de B. Sousa; Marco Aurélio H. de Castro; Cleto Augusto B. Monteiro; Germana de P. Pessoa; Claudio D. de Souza.

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.

Página | 55

essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Publicação DOU nº 249, de 30/12/2009, págs. 81-84.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº. 357/2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Publicação DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria MS Nº 2914/2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Publicação DOU nº 239, de 14/12/2011, seção 1, págs. 39-46.

DENT, B. B. Vulnerability and the unsaturated zone: the case for cemeteries. In: **Joint Conference**, New Zealand Hydrological Society, International Association of Hydrogeologists (AUSTRALIAN CHAPTER) and New Zealand Soil Science Society, 5., Nov. 30 – Dec. 2 2005, Auckland. Proceedings: where waters meet. Auckland: IAH, 2005.

DENT, B. B.; KNIGHT, M. J. Cemeteries: a special kind of landfill. In: **International Association of Hydrogeologists Sustainable Solutions Conference**, February 1998, Melbourne. Proceedings... Kenilworth: IAH, 1998.

DENT, B.B. **The hydrogeological context of cemetery operations and planning in Australia**. PhD Thesis, University of Technology, Sydney, 2002.

ENVIRONMENT AGENCY (United Kingdom). **Assessing the groundwater pollution potential of cemetery developments**. Bristol, 2004. 20 p.

ENVIRONMENT AGENCY (United Kingdom). **Pollution Potential of Cemeteries – Draft Guidance**. Bristol, 2002. 71 p.

HEATH, R. C. **Hidrologia básica de água subterrânea**. Washington, D.C.: United States Government Printing Office, 1983. (Geological survey water supply paper ;2220). 84p. 1983.

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.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed., rev. e ampl. Campinas, SP: Editora Átomo, 494 p., 2010.

MARINHO, A. M. C. P. **Contaminação de aquíferos por instalação de cemitérios: estudo de caso do cemitério São João Batista, Fortaleza – Ceará**. 1998. 88f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1998.

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.

MATOS, B. A. **Avaliação da ocorrência e do transporte de microorganismo no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, município de São Paulo**. 2001. 161f. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

PACHECO, A. **Cemitérios e meio ambiente**. 2000. 102f. Tese (Livre Docência) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ROCCA, A. Os passivos ambientais e a contaminação do solo e das águas subterrâneas. In: Vilela Junior, Alcir (org); Demajorovic, Jacques(org). **Modelos e ferramentas de gestão ambiental: desafios e perspectivas para as organizações**. São Paulo; SENAC. 2ed. 2010. P. 249-296.

SILVA, R. W. C.; MALAGUTTI FILHO, W. Cemitérios como áreas potencialmente contaminadas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, Cubatão, v. 9, p. 26-35, mar./ abr. 2008.

SPERLING, Marcos von. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. V.1, 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

SPÍNOLA, A. L. S. **Inserção das áreas contaminadas na gestão municipal: desafios e tendências**. 2011. Tese (Doutorado em Saúde Ambiental) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

TERESINA. Prefeitura Municipal. Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação Geral. **Teresina: Agenda 2015** – Plano de Desenvolvimento Sustentável. Teresina, 2002.

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

**Recebido em:** 17/10/2014

**Aprovado para publicação em:** 29/12/2014