



Vulnerabilidade de Aquíferos: Caso dos Cemitérios de Igarassu e Itapissuma, PE

Kátia Virgínia KATER¹; Felisbela Maria da Costa OLIVEIRA²

RESUMO: Este trabalho estuda a vulnerabilidade dos aquíferos baseada na teoria empírica de Foster e Hirata e mostra-se o potencial de risco de contaminação do aquífero Beberibe. Faz-se um levantamento das áreas de cemitérios dos municípios de Igarassu (02) e Itapissuma (01), Pernambuco, possíveis fontes de poluição de águas subterrâneas. Estes cemitérios estão localizados na área de recarga do Aquífero Beberibe, de grande importância ambiental, sendo, portanto, um risco à contaminação das águas subterrâneas. Neste método, a análise da vulnerabilidade é feita considerando-se o tipo de ocorrência de água subterrânea; as características dos estratos acima da zona saturada, em termos do grau de consolidação e tipo litológico e a profundidade do nível da água. Sendo o aquífero livre (área de recarga), as camadas de solos permeáveis e o nível freático à profundidade menor que 10m, esta avaliação mostrou que nestas áreas, onde os cemitérios se situam, o aquífero apresenta alta vulnerabilidade à contaminação. O conhecimento das características geotécnicas, geológicas e hidrogeológicas das áreas de implantação de cemitérios é importante como medida de prevenção a possíveis contaminações do solo, das águas subterrâneas e das bacias hidrográficas. Seus resíduos podem contagiar populações servidas por essas águas e pela ingestão de alimentos contaminados provenientes dessa localidade.

Palavras Chave: cemitérios, aquíferos, contaminação, vulnerabilidade.

Abstract: *This paper studies the vulnerability of aquifers based on empirical theory of Foster and Hirata and shows the risk potential of contamination of the aquifer. It is carried out a survey of the areas of the cemeteries in the counties of Igarassu and Itapissuma, Pernambuco, possible sources of pollution of groundwater. These cemeteries are located in the recharge area of the Beberibe aquifer, of great environmental importance, being, therefore, a risk to groundwater contamination. In this method, the vulnerability analysis is performed considering the type of groundwater occurrence; the characteristics of the layers above the saturated zone, in terms of degree of consolidation and lithology type, and the depth of the water level. Being the unconfined aquifer (recharge area), the layers of permeable soils, and the water table depth less than 10m, the evaluation showed that in*

¹ Escola Politécnica – Universidade de Pernambuco

² Departamento de Geologia – Universidade Federal de Pernambuco

Autor para correspondência: Kátia Virgínia Kater

Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco. Rua Benfica, 455, Madalena, 50720-001, Recife, PE.

E-mail: katiakater@hotmail.com

Recebido durante o XXVI SGNE 2015 / Aceito em 05 de Dezembro de 2016.

those areas, where the cemeteries are located, the aquifer is highly vulnerable to contamination. Knowledge of geotechnical, geological and hydrogeological characteristics of cemeteries implementation areas is important as a measure to prevent the possible contamination of soil, groundwater and river basins. Their waste can infect populations served by these waters and by the ingestion contaminated food from that location.

Key Words: cemeteries, aquifer, contamination, vulnerability.

1. INTRODUÇÃO

Este estudo se situa no âmbito das preocupações voltadas para a preservação do meio ambiente. A pesquisa faz um levantamento das áreas dos cemitérios dos municípios de Igarassu e Itapissuma, Pernambuco (Figura 1), possíveis fontes de poluição de águas subterrâneas. Esta pesquisa inclui-se no conjunto de estudos que vêm sendo feitos por especialistas brasileiros com o propósito de contribuir para a preservação do meio ambiente. Preocupação que sendo antiga na sua origem tem avançado proporcionalmente, no Brasil e no mundo, com o desenvolvimento, as necessidades e as urgências das cidades modernas que, no geral, como muitos dos estudos

sobre o meio ambiente indicam, vem sendo feito de maneira desordenada e caótica: mais prejudicando do que servindo ao homem.

O Aquífero Beberibe tem importância essencial para o abastecimento d'água na Região Metropolitana do Recife, entretanto suas áreas de recarga encontram-se ameaçadas e comprometidas por fontes poluidoras entre elas os cemitérios dos municípios de Igarassu e Itapissuma. Daí incluem-se, neste estudo, obrigatoriamente estudos paralelos de geotecnia para avaliação da vulnerabilidade à contaminação por esses agentes poluidores.



Figura 1 – Mapa de localização dos municípios.

1.1 Cemitérios e contaminação

A origem da palavra cemitério, segundo o Dicionário Aurélio, vem do grego Koimetérion, que significa “dormitório” em latim Coemeteriu - recinto onde se enterram e guardam os mortos. Durante muito tempo, em Paris, os cemitérios não foram regidos por nenhuma legislação precisa. As recomendações dos parlamentares, nesse sentido, naquela época, não foram respeitadas nem pelo clero nem pelas classes privilegiadas. Esse fato favoreceu surtos epidêmicos, obrigando os parlamentares a intervir energicamente. Assim, em 1755, foi proibida a realização de enterros nos cemitérios localizados nas igrejas e nos templos. Ainda assim, muitas das prescrições não foram respeitadas e a maior parte dos cemitérios continuou situada em torno das igrejas e no meio dos aglomerados humanos.

No que diz respeito às leis pertinentes ao assunto, a Legislação Brasileira dos séculos XIX e XX, tem as mesmas origens e os mesmos objetivos das legislações europeias: garantir a salubridade pública e impedir a disseminação de doenças. Nos dias atuais, o CONAMA, após constatação de que os cemitérios causam poluição ambiental, baixou a Resolução nº 335, de 3 de abril de 2003, exigindo o licenciamento ambiental de cemitérios. Para Sirvinskas (2015), “Essa resolução apresenta os requisitos necessários que devem ser cumpridos nas fases da licença prévia, de instalação e de operação. Os cemitérios existentes deverão adequar-se a essa resolução, devendo firmar com o órgão competente termo de ajustamento de conduta dentro do prazo de cento e oitenta dias contados a partir da data da publicação dessa resolução. O descumprimento desta, bem

como do termo de ajustamento, sujeitará o infrator às penalidades previstas na Lei nº 9.605/98”.

Estudos realizados na Alemanha constataram que um cemitério situado em terreno de aluvião não consolidado é um grande risco de contaminação para as águas subterrâneas. Esta afirmativa foi baseada em análises químico-bacteriológica das amostras coletadas dessas águas a uma profundidade de 0,50m abaixo da base das covas. Esse mesmo estudo mostrou que a maior concentração de bactérias está nas imediações dos túmulos e à medida que a profundidade vai aumentando o número de bactérias encontradas vai diminuindo; isto se deve a relação inversa existente entre a capacidade de retenção e a permeabilidade (SCHROPS apud PACHECO, 1986). Pacheco (1986) afirma ainda que a infiltração de material contaminante em um terreno arenoso se faz em velocidades um milhão de vezes superiores à que ocorre na argila, ou seja, os processos de retenção de organismo são mais eficientes nos solos argilosos do que na areia e cascalho. Neste sentido, os aquíferos formados por grandes interstícios, por fraturas e canais de dissolução (karsts) estão deficientemente protegidos. É necessário lembrar que a capacidade de retenção do solo deve-se também a litologia, a aeração, a umidade, a pluviometria, aos nutrientes aí existentes, etc.

1.2 Águas subterrâneas

A importância estratégica dos recursos hídricos subterrâneos, geralmente com qualidade físico-química e biológica muito boa, é fundamental, pois a água subterrânea pode ser aproveitada para todos os usos da atividade humana. A exploração de águas subterrâneas vem registrando um

expressivo incremento. Vários núcleos urbanos são abastecidos de água subterrânea, de forma exclusiva ou complementar. Indústrias, propriedades rurais, escolas, hospitais e outros estabelecimentos utilizam, com frequência, água de poços tubulares.

Tendo em vista a utilização das águas subterrâneas como forma de abastecimento de água para os centros urbanos e áreas rurais, os órgãos responsáveis para suprir a demanda de água à população e para as diversas atividades econômicas, tendem a se preocuparem com o volume de exploração dessas águas e conseqüentemente com a recarga dos aquíferos a fim de manterem um abastecimento que venha satisfazer a demanda da sociedade em geral. Ainda assim é importante salientar que nem só o volume dessas águas subterrâneas é importante, mas também a sua qualidade, pois é entre tantas outras funções, um caso de saúde pública.

Com base no exposto, identificar as fontes potenciais de contaminação e os seus respectivos contaminantes e, se possível o histórico e o quantitativo da carga contaminante, pode-se avaliar as conseqüências dos riscos potenciais na saúde das populações residentes e ou das populações que podem chegar a consumir alimentos contaminados e se servirem das águas que não estejam dentro dos padrões de potabilidade, refletindo na qualidade de vida desses indivíduos.

A vulnerabilidade natural é uma característica intrínseca às formações geológicas, mas, esta vulnerabilidade pode ser influenciada pelo homem. Complementando, Diniz *apud* Kater (1999) expõe que a influência da carga de contaminante é dependente, fundamentalmente, das atividades antrópicas, isto

é, “função direta das modificações introduzidas no meio ambiente, tais como a existência ou não de saneamento básico, lixões, área irrigada, cemitérios, depósitos de combustíveis, etc.”.

Para Macedo (2004), as principais fontes de contaminação das águas subterrâneas por necrópolis são as sepulturas com menos de um ano e que estejam localizadas nas cotas mais baixas próximas ao nível freático, isto é, em torno de 4 metros. As necrópolis, por necessitarem de grande consumo de oxigênio, provocam um acréscimo na quantidade de sais minerais que aumentam a condutividade elétrica da água, conseqüentemente, aumentando a concentração dos íons como bicarbonato, cloreto, sódio e cálcio e dos metais como: ferro, alumínio, chumbo e zinco. Por esta razão, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e a Agência Nacional das Águas (ANA) dizem que se deve evitar utilizar nos caixões e urnas, mantas com plásticos, tintas, vernizes, metais pesados ou qualquer material nocivo ao ambiente.

1.2.1 Aquífero Beberibe

O manancial disponível, denominado Aquífero Beberibe, é de amplo conhecimento no mapa hidrogeológico do Brasil elaborado pelo Departamento Nacional da Produção Mineral - DNPM, como um aquífero de elevado potencial produtivo. Detém uma extensão regional de cerca de 140 Km, abrangendo de forma contínua, a faixa litorânea com aproximadamente 20 Km de largura, desde os limites de Olinda-Recife em Pernambuco, até o vale do rio Mamanguape na Paraíba.

Apresenta uma espessura média de cerca de 200 metros, que lhe confere, ao lado da extensa área de ocorrência, grande capacidade de acumulação de

água. Trata-se, portanto, de um reservatório subterrâneo extenso, porém de dimensões limitadas, lateral e verticalmente, onde as reservas armazenadas poderiam, neste caso, serem efetivamente exauridas a partir de uma exploração intensiva e de longo prazo. Ao contrário, histórico da utilização desse manancial ao longo dos últimos 20 anos, depõe amplamente a favor de sua potencialidade.

O Aquífero Beberibe armazena águas de elevado padrão químico e com uma distribuição bastante uniforme ao longo de toda a sua extensão na Região Metropolitana Norte do Recife.

O manancial apresenta elevado grau de autoproteção, em função da sua ocorrência a partir de 100-150 metros de profundidade, em geral, estando recoberto por espessas camadas onde estão presentes intercalações argilosas, que lhe conferem uma baixa vulnerabilidade à contaminação.

1.3 Condições climáticas

A área em estudo, de acordo com a classificação climática de Köppen, situa-se na faixa de clima pseudo-tropical da costa nordestina (As'). Além da influência do relevo, latitude e continentalidade, o clima nordestino é complexo, considerando a posição geográfica da região. É, igualmente, considerado o ponto final de vários sistemas de correntes perturbadas, responsáveis pela instabilidade das chuvas da região. São quatro os sistemas de circulação atmosférica que influenciam o Nordeste: as correntes perturbadas do Sul; as correntes perturbadas do Norte; as correntes perturbadas do Leste e as correntes perturbadas do Oeste.

As correntes perturbadas de Leste são significativas no estudo da área em Igarassu. Precipitações de outono e

inverno, que são chuvas principalmente frontológicas, estendem-se até o estado da Paraíba. São rarefeitas na Costa Oriental, durante a primavera e o verão; elevam-se, com influência do ar Tépido Kalaariano, provocam instabilidade. Registre-se que se assinalam ao longo da costa por sistemas de nuvens: a princípio em nimbus-stratus com chuvas de baixa densidade; porém o ar frio se introduz, tumultuando o ar quente e impelindo-o para o alto, formando cumulus-nimbus que se resolvem, às vezes, em aguaceiros tempestuosos. Os dados climatológicos relativos a esta pesquisa foram obtidos junto ao INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, relativos à estação meteorológica do Curado, Recife, por ser aquela mais perto da área de estudo.

1.3.1 Classificação de Thornthwaite

A classificação bioclimática do Brasil foi estabelecida de acordo com as zonas de umidade de Thornthwaite. Segundo a sua classificação o índice de umidade situa-se entre 0 e 100. E o seu método se fundamenta na ideia de que da água da chuva que se precipita, uma parte é utilizada pelas plantas, que em seguida a perde por transpiração, e a outra se escoia pelo lençol freático e/ou superficial para em seguida evaporar-se. Considerada essa classificação, a área da Mata Atlântica nordestina corresponde ao clima subúmido, com umidade relativa média da ordem de 80%: a estação úmida vai de março a agosto; a estação seca de setembro a fevereiro, período em que se registra uma deficiência hídrica.

Em Igarassu, o total de precipitação, da ordem de 2.226 mm, é superior às suas necessidades de água. A estação climaticamente úmida ocorre nos meses de fevereiro a setembro; a estação climática seca de outubro a janeiro. A

estação climaticamente úmida ocorre nos meses de fevereiro a setembro; a estação climática seca de outubro a janeiro. A estação biológica úmida se estende de março a setembro, com excesso de 1.068 mm, e a estação biologicamente seca ocorre nos meses de outubro e janeiro, com um déficit de 180 mm.

A média anual de temperatura, em Igarassu, é de 25,1°C. A evapotranspiração referencial de 1.338 mm e a evapotranspiração real chega à quase totalidade de abastecimento da água: 1.168 mm, com déficit maior para o solo. A precipitação, em Igarassu, está bem distribuída. Embora nos meses de março a setembro a precipitação seja superior às necessidades de água, não se considera esse semestre úmido ou seco: por ocorrer no início da estação climaticamente úmida, o excesso de precipitação é usado para a saturação dos solos, antes que as plantas utilizá-lo. Os meses de outubro a janeiro, da mesma maneira, não são biologicamente úmidos ou secos: dando início à estação climaticamente seca, o excedente de água no solo é utilizado pelas plantas.

1.4 Geologia da área

A área em estudo, inserida na Bacia Sedimentar PE/PB, foi gerada pelos eventos geotectônicos que, a partir do período jurássico, comandaram o processo de abertura do Oceano Atlântico e resultaram na separação entre a África e a América do Sul. A bacia tem forma alongada na direção NE-SW e assenta-se sobre o embasamento Pré-Cambriano da Província da Borborema. Seu arcabouço estrutural é constituído por falhas de gravidade da crosta continental, formando grabens e meio-grabens de diversas dimensões e orientações (PORTO *apud* KATER, 1999).

Conforme Rand (1976), a bacia

divide-se em duas sub-bacias, separadas pelo lineamento Pernambuco, denominadas de sub-bacia sul e sub-bacia norte. A área em estudo, situada na sub-bacia norte, é caracterizada por um tectonismo menos acentuado. Pesquisas efetuadas por diversos autores, entre os quais Beurlen (1967) Tinoco (1967) e Mabesoone & Alheiros (1988), descrevem, de forma resumida, as principais feições litológicas que ocorrem na região.

O embasamento cristalino, constituído por rochas magmáticas graníticas e metassedimentos, serve de suporte básico às formações sedimentares e afloram ocasionalmente na faixa costeira. Têm de 20 a 30 m na periferia da planície e, próximo à costa, até 240 m. Constata-se a presença de um espesso pacote de arenitos monótonos e estéreis, com granulação variável e com uma espessura, que chega a atingir mais de 300 m, denominado de Formação Beberibe. Esse pacote, segundo Beurlen, dá início à sequência sedimentar. O mesmo Beurlen, junto com Mabesoone, distingue três fácies interligadas: a fluvial, ocasionalmente a estuarina e, raramente, a lagunar. Na base há uma predominância de leitos arenosos, frequentemente conglomeráticos, intercalados com níveis argilosos. Na parte superior aparecem arenitos finos, com níveis de siltitos e argila cinzenta, que apresentam restos de vegetais carbonizados.

Os clásticos da Formação Beberibe repousam, concordantemente, em sequência carbonática da Formação Gramame. Essa unidade é constituída de calcários marinho-cinza entremeada com filmes de argila que indicam idade Cretácea Superior-Maestrectiano. O caráter litológico e o documentário paleontológico indicam ambientes de

fáceis fosfáticas em locais mais tranquilos. Sobreposta à Formação Gramame, a Formação Maria Farinha, de idade Terciária inferior Paleoceno-Eoceno, com espessura máxima de 35 m, é constituída de calcário detrítico, cinzento e creme, com intercalações de níveis argilosos cinzentos. E diferencia-se da Formação Gramame pelo seu conteúdo fóssil.

Capeando, discordantemente, formações mais antigas como Gramame, Maria Farinha e, mesmo, o Beberibe, aparecem os sedimentos nitidamente Continentais e não consolidados da Formação Barreiras, que acompanha toda costa atlântica: do Pará ao Rio de Janeiro. Os sedimentos quaternários são representados pelos terraços marinhos Pleistocênicos e Holocênicos, depósitos flúvio-lagunares, mangues, restingas, recife de arenito ("beach rocks") e praia atual. Já na plataforma continental podem-se observar tipos variados de sedimentos que são produzidos a partir das variações Holo-Pleistocênicas do nível do mar e das flutuações climáticas na zona leste do continente sul-americano, típica de clima tropical. A plataforma do nordeste apresenta, ainda, um pequeno aporte de sedimentos biogênicos/biodetríticos.

O embasamento cristalino, constituído por rochas magmáticas graníticas e metassedimentos, serve de suporte básico às formações sedimentares e afloram ocasionalmente na faixa costeira. Têm de 20 a 30 m na periferia da planície e, próximo à costa, até 240 m. Constata-se a presença de um espesso pacote de arenito monótono e estéril, com granulação variável, e com uma espessura que chega a atingir mais de 300 m, denominado de Formação Beberibe. Esse pacote dá início à sequência sedimentar onde se distingue

três fácies interligadas: a fluvial, ocasionalmente a estuarina e, raramente, a lagunar. Na base há uma predominância de leitos arenosos, frequentemente conglomeráticos, intercalados com níveis argilosos. Na parte superior aparecem arenitos finos, com níveis de siltitos e argila cinzenta, que apresentam restos de vegetais carbonizados. Kegel propôs que o termo Beberibe fosse utilizado, como ocorre, para designar a camada fossilífera intercalada nas areias argilosas aflorantes no vale do rio Beberibe, próximo do Recife (OLIVEIRA LIMA, 1993).

1.5 Hidrografia

O município de Igarassu, em quase toda a extensão, é banhado pelas bacias do Botafogo e do rio Igarassu. Gilberto Osório de Andrade & Rachel Caldas Lins (1964) comentam que a drenagem, em geral, apresenta-se bem encaixada em terrenos do Terciário, os vales têm vertentes íngremes e suas calhas de fundo chato dilatam-se, contendo várzeas Quaternárias perfeitamente confinadas pelos tabuleiros. O topo dos tabuleiros que corresponde aos interflúvios constitui a superfície original, contendo uma área conservada, em largas extensões, com as várzeas separadas umas das outras por essa formação. Possui, ainda, uma drenagem exorréica com modelo que tende ao paralelismo, caracterizado por uma série de cursos d'água que correm, mais ou menos, paralelos entre si numa extensão relativamente grande. De acordo com a Companhia Pernambucana de Saneamento - COMPESA a Bacia do rio Igarassu engloba diversos cursos d'água secundários com os rios Tabatinga e Congo, que se juntam ao principal nas proximidades da desembocadura, no Canal de Santa Cruz. Ele recebe essa

denominação a jusante da cidade do mesmo nome.

2 .METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa inclui levantamento de dados bibliográficos e cartográficos (profundidades das águas do aquífero na localidade) em órgãos públicos; pesquisa de campo, para identificação e caracterização da área, a partir de mapas topográficos e geológicos; coleta de dados primários junto aos órgãos ligados às Prefeituras de Igarassu e de Itapissuma.

2.1 Geotecnia

Foram coletadas amostras amolgadas, obedecendo a NBR/ABNT 6457, retiradas à trado tipo cavadeira, a uma profundidade variada de 0,0 m à 1,25 m, nas áreas estudadas nos cemitérios de Igarassu e Itapissuma. Foram realizadas, em cada um dos cemitérios, três perfurações, retirando-se a cada furo 03 (três) amostras a profundidades diferentes ao longo do perfil (0,20m, 0,50m e 1,00m). Feita a coleta das amostras "in situ", foram iniciados os Ensaio de Laboratórios de Análise Granulométrica, de acordo com a NBR/ABNT 7181, no Laboratório de Mecânica dos Solos do Departamento de Engenharia Civil da UFPE.

Seguiram-se as instruções da NBR/ABNT 6508, definidas para os grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da Massa Específica, método de ensaio, por meio de picnômetro, para as amostras obtidas de cada uma das prospecções efetuadas. Concluídos os Ensaio de Caracterização para cada subárea, obteve-se a sua composição granulométrica, que serviu sua a análise.

2.2 Vulnerabilidade

A vulnerabilidade pode ser definida, segundo Ribeira (2004), como uma série de atributos ou características de determinado meio, que são o solo, a zona não saturada, os parâmetros hidráulicos do aquífero e a recarga, que controlam a habilidade do mesmo de resistir a determinado impacto e sua capacidade de auto-restauração. Assim, a vulnerabilidade natural das águas subterrâneas corresponde à capacidade das características hidrodinâmicas e litológicas do aquífero, de impedir determinados impactos naturais ou antrópicos (RIBEIRO *et al.*, 2011).

O método GOD (FOSTER e HIRATA, 1988) corresponde a uma das técnicas de determinação de vulnerabilidade mais utilizadas devido a sua simplicidade de conceitos e implementação. O desenvolvimento do método GOD se dá a partir dos seguintes fatores: Grau de confinamento do aquífero (G) (Groundwater occurrence) ou forma de ocorrência da água subterrânea; Ocorrência dos estratos geológicos (Overall Litology of Aquiperm or Aquitard) (características litológicas e grau de consolidação da zona não saturada seu grau de consolidação (O); e Distância ou profundidade do nível d'água ou da base confinante do aquífero (D) (Depth to Groundwater Table). Este método aplica constantes entre 0 e 1 para cada variável e o produto entre essas variáveis determina o índice de vulnerabilidade, sendo que, todos os parâmetros apresentam o mesmo peso de importância sobre o índice final. A equação que define o índice de vulnerabilidade é representada da seguinte forma:

Índice de Vulnerabilidade **GOD = Gi*Oi*Di**

Onde, G O D correspondem aos parâmetros e o i ao índice de classificação de cada parâmetro (RIBEIRO *et al.*, 2011).

Os parâmetros acima mencionados e analisados são recomendações da OMS (Organização Mundial de Saúde), para se avaliar orisco de contaminação de aquíferos.

Após a pontuação das três etapas acima é feito o produto dos valores obtendo-se a(s) classe(s) de vulnerabilidade do aquífero, esses que deverão ser classificados de acordo com os seguintes intervalos de significância apresentados na Figura 2.

As características do aquífero (tipo e litologia das camadas), com fins de estimativa da vulnerabilidade pelo método de Foster e Hirata, nos pontos estudados, foram obtidas partir dos perfis dos poços da Companhia de

Saneamento de Pernambuco que nesta área apresentam perfil litológico, típicos da formação Beberibe (do topo para a base, arenitos quartzosos, siltitos, argilitos com presença, em muitos casos, de fósseis).

As classes de vulnerabilidade de aquíferos variam de desprezível (ou insignificante) à extrema, sendo que sua nomenclatura apresenta definição específica, que reflete a sensibilidade natural dos aspectos hidrogeológicos observados nesta pesquisa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na área de estudo localizam-se três cemitérios: um no município de Igarassu (cemitério municipal) e dois no município de Itapissuma (cemitérios de São Gonçalo e municipal).

A ocorrência das águas subterrâneas, nesta área, varia de 0,50 à

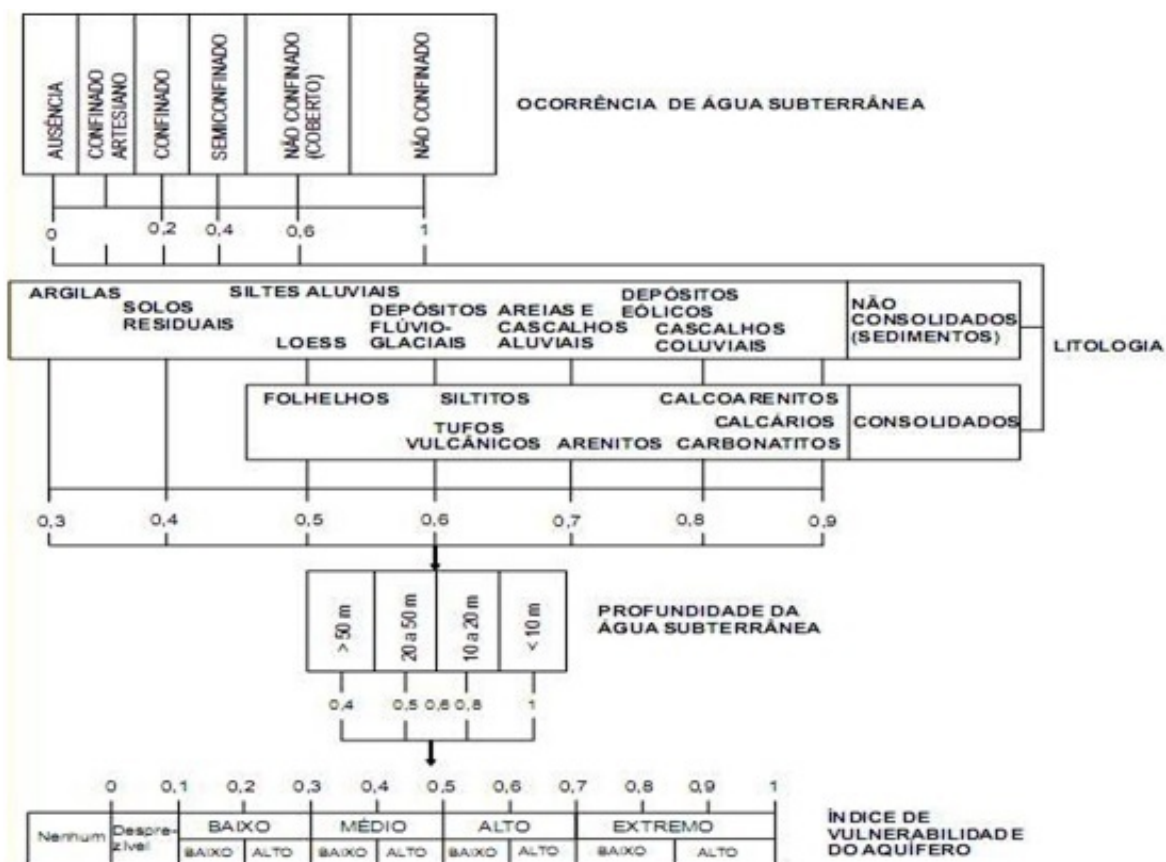


Figura 2 - Fluxograma do Método de Foster e Hirata (1988)

10,0 m de profundidade, com o substrato litológico formado por arenito (Arenito Beberibe). Esta área representa 95% da superfície de recarga do Aquífero Beberibe, quase sua totalidade, onde ocorre como aquífero livre. Ressalta-se que em pequenas manchas tem-se ocorrência das águas subterrâneas que vão além de 10,0 m de profundidade, correspondendo a 5% aproximadamente, da área em questão. Na Tabela 1 estão descritas as características geológicas e hidrogeológicas do aquífero subjacente aos cemitérios e a classificação do aquífero segundo Foster e Hirata. Por este método, utilizando o fluxograma apresentado na Figura 2, a área em estudo apresenta uma alta vulnerabilidade.

Tabela 1 – Características do aquífero na área de estudo e vulnerabilidade segundo o método GOD (FOSTER e HIRATA, 1988).

Área	Nível estático		Aquífero		Substrato		Vulnerabilidade do Aquífero
	Prof. (m)	Vulnerabilidade	Tipo	Vulnerabilidade	Litologia	Vulnerabilidade	
Cemitérios	0-10	0.8	Não confinado	1.0	Arenitos	0.7	Alta

As características dos solos, nas áreas dos cemitérios considerados, baseadas nos ensaios geotécnicos realizados, são apresentadas na Tabela 2. Pela classificação Unificada dos Solos (U.S.C.), os materiais terrosos dos cemitérios variam de areias a areias siltosas. Os coeficientes de permeabilidade variam de 10^{-3} a 10^{-6} cm/s, com permeabilidade relativa de pouco a moderadamente permeável, com possibilidade de drenagem de regular a impermeável. Embora a fração arenosa facilite a drenagem dos fluidos, de fato, o silte, presente na areia siltosa, por sua pequena granulometria, induz a baixos coeficientes de permeabilidade.

Entretanto, parte deste aquífero se encontra protegido por estar a grandes profundidades (mais de 100m) e com intercalações de materiais argilosos, cuja permeabilidade varia, segundo Terzaghi, de 10^{-7} a 10^{-9} cm/s, portanto muito baixa.

Para os autores Foster e Hirata (1995) a atividade humana em superfície pode alterar e induzir novos mecanismos de recarga ao aquífero, podendo modificar a taxa, a frequência e a qualidade dessa recarga de águas subterrâneas. Assim sendo, as atividades antrópicas desenvolvidas na área de estudo afetam a quantidade e a qualidade das águas do aquífero localizado sob a região.

Este fato corrobora para uma maior proteção, localmente, do subsolo no que diz respeito a contaminantes.

O tipo de solo desempenha um papel de relevância na retenção dos microorganismos patogênicos, bactérias e vírus, e em especial a zona não-saturada, mediante um conjunto de fatores físicos e químicos ambientais, que afetam a infiltração e o movimento destes micróbios.

O contaminante ao entrar no solo sofre algumas reações que podem retê-lo, deixá-lo passar livremente ou atenuá-lo no meio sólido. Solos arenosos possuem grãos maiores e conseqüentemente superfícies especifi-

cas menores e permeabilidades elevadas, não conseguindo, portanto, reter líquidos; apresentam sílica pura em sua composição, sendo, pois, meio pobre para o desenvolvimento biológico. As argilas, por outro lado, apresentam partículas bem menores, da ordem de 0,005mm de diâmetro, e superfícies específicas elevadas (80m²/g), baixís-

simos coeficientes de permeabilidade o que faz com que o contaminante tenha menor velocidade de fluxo neste meio e também, por conta de forças capilares mais intensas, devidas à finura dos solos argilosos, o líquido poluente para ser retirado, precisa de uma pressão maior do que no caso de solos arenosos (CARNEIRO, 2008).

Tabela 2 – Características dos solos dos cemitérios.

Cemitérios	Classificação do Solo (U.S.C.) ¹	Permeabilidade provável K (cm/s)	Permeabilidade relativa	Potencialidade de drenagem
Cemitério de Igarassu	SM – Areia Siltosa	10 ⁻³ a 10 ⁻⁶	Moderada a muito pouco permeável	Regular a Impermeável
Cemitério de São Gonçalo	SP - Areias e SM - Areias Siltosas	10 ⁻³ a 10 ⁻⁶	Moderadamente permeável	Para SP-Excelente Para SM-Regular a Impermeável
Cemitério de Itapissuma	SP - Areias e SM - Areias Siltosas	10 ⁻³ a 10 ⁻⁶	Moderadamente permeável	Para SP-Excelente Para SM-Regular a Impermeável

Fonte: Kater, 1999.

¹USC - Unified Soil Classification System

A capacidade de retenção mantém uma relação inversa com a permeabilidade. Assim, o coeficiente de permeabilidade das areias grossas e cascalhos varia, de acordo com a sua granulometria, entre 0,86 e 864 metros/dia; a areia fina apresenta um coeficiente oscilando entre 8,64 x 10⁻⁵ e 0,86 metros/dia, enquanto as argilas apresentam coeficientes da ordem de 8,64 x 10⁻⁷ a 8,64 x 10⁻⁵ metros/dia. Por conseguinte, a infiltração de material contaminante em um terreno arenoso se faz a velocidades um milhão de vezes superiores à que ocorre na argila, ou seja, os processos de retenção de organismo são mais eficientes nos solos argilosos do que na areia e cascalho. A capacidade de retenção do solo é função de um conjunto de condições onde se destacam a litologia, a aeração, a redução de umidade, os nutrientes e outras. Quando estas condições não são favoráveis, os

efeitos estabilizadores podem ser insuficientes para a eliminação dos microorganismos patogênicos oriundos dos cadáveres (PACHECO, 1986).

Assim, estabelecem-se condições propícias à contaminação das águas, a qual será facilitada nas épocas chuvosas, em decorrência do arrastamento provocado pelas chuvas e pela elevação do nível freático, fazendo com que este se aproxime das regiões superficiais, entrando diretamente em contato com as sepulturas ou camadas contaminadas do solo. Segundo Pacheco (1986), o necrochorume pode entrar em contato com as águas subterrâneas onde a intensidade das precipitações pluviométricas é elevada, como no caso em estudo (Igarassu e Itapissuma) e onde o nível freático fica próximo à superfície, num período que pode demorar de 1 a 4 semanas ou de 6 a 8 meses.

Guiguer (2000) mostra valores típicos de porosidade total para solos diferentes (Tabela 3). Sabe-se que a permeabilidade e porosidade dos solos estão inter-relacionadas. Solos de grãos grossos tais como areias (como no caso estudado) e cascalhos apresentam coeficientes de permeabilidade elevados; valores de porosidade elevados para estes tipos de solos (25 a 40%) também indicam permeabilidade elevada como se observa nos solos arenosos dos cemitérios.

Observa-se que nessa área, onde a vulnerabilidade natural é alta, há variações quanto à própria característica de vulnerabilidade. Onde existem areias, a permeabilidade é maior e a drenagem é excelente o que facilita a contaminação

do aquífero; por outro lado, areias siltosas apresentam menor coeficiente de permeabilidade, portanto, drenagem mais difícil e menos susceptibilidade de poluição das águas subterrâneas.

Quanto aos sepultamentos ao mês, os números oscilam de 06 (seis) a 08 (oito), sendo estes em covas rasas com profundidade de cerca de 1,50m. O estado de conservação, desses cemitérios, é precário: os túmulos apresentam rachaduras em função da ação das raízes das árvores frutíferas ali existentes. Outra observação a ser assinalada, é que não há nenhum tipo de pavimentação no seu interior, ficando essas áreas como possíveis áreas de captação de águas (Figura 3).

Tabela 3 – Variação de porosidade de vários tipos de solos.

Tipo de Solo	Variação de Porosidade
areia ou cascalho	25 a 40 %
areia e cascalho, misturados	25 a 35 %
sedimentos glaciais	10 a 20 %
Argila	33 a 60 %



Figura 3 – Aspecto do Cemitério São Gonçalo, município de Igarassu, covas rasas e sem pavimentação.

O CONAMA em sua resolução nº 335 indica que o fundo das sepulturas deve manter uma distância mínima de um metro e meio do nível máximo do aquífero freático. Porém, segundo Souza Pinto (2006), a altura de ascensão capilar máxima da água é de poucos centímetros para pedregulhos, 1 a 2 metros para areias, 3 a 4 metros para os siltes e dezenas de metros para as argilas. Assim, no caso dos cemitérios de Igarassu e Itapissuma, os solos nestas áreas consistem de areias e areias siltosas, portanto a água do aquífero sobe, para além da zona saturada, podendo atingir altura suficiente a ponto de ser contaminada pelo necro-chorume. Este artigo da resolução do CONAMA se mostra, pois, ineficiente e ineficaz no que concerne a proteção das águas subterrâneas.

A presença de cemitérios nas áreas urbanas provoca impactos ambientais. O mais importante está no risco de contaminação das águas superficiais e subterrâneas por microorganismos que proliferam durante o processo de decomposição dos cadáveres, e posterior o uso das águas pelas populações. Considerando-se que, de maneira geral, na localização de cemitérios não se leva em conta os aspectos geológicos e hidrogeológicos, estes, por efeito da inadequação do tipo de construção, poderão se constituir em unidades de alto potencial de risco para as águas.

As águas atingidas por necrochorume apresentam contaminação microbiológica por bactérias heterotróficas, bactérias proteolíticas, clostrídios sulfitorredutores, enterovirus e adenovirus. Há também um grande consumo de oxigênio, devido à decomposição biológica e transformações químicas, principalmente dos produtos com nitrogênio, fósforo, enxofre e outros.

As sepulturas provocam um acréscimo na quantidade de sais minerais, aumentando a condutividade elétrica destas águas. Parece haver um aumento na concentração dos íons maiores bicarbonato, cloreto, sódio e cálcio, e dos metais ferro, alumínio, chumbo e zinco e de outros metais, há presença de diaminas muito tóxicas, que são constituídas pelas putrescina (1,4 butano-diamina) e a cadaverina (1,5 pentano-diamina), dois venenos potentes para os quais não se dispõem de antídotos eficientes (MATOS *apud* NOGUEIRA *et al*, 2013). No Brasil, a proteção qualitativa das águas subterrâneas vem sendo negligenciada, apesar da sua importância do ponto de vista estratégico e econômico (MARINHO, 1996).

4. CONCLUSÃO

A área estudada apresenta, segundo o Método GOD (FOSTER e HIRATA, 1988), alta vulnerabilidade das águas subterrâneas à poluição. Entretanto estudos geotécnicos apontam variações nas características do solo que recobrem a localidade, como a permeabilidade relativa, que varia de moderada a muito pouco permeável, e drenagem regular a impermeável; fato este que se traduz por variações na vulnerabilidade à contaminação a partir do tipo de cobertura de solo sobre o aquífero. Além disso, a grande precipitação pluviométrica facilita a contaminação dos solos e águas subterrâneas e prejudica os processos de decomposição dos cadáveres pela saponificação dos corpos.

Pode-se afirmar também que a área, além da presença do cemitério, está vulnerável à poluição em função da população aí residente, sem saneamento básico, lançando os seus dejetos no solo e/ou nas águas superficiais. Esta carga

poluente pode comprometer o solo e as águas superficiais de abastecimento. Sugere-se, por isso, análise das águas de poços e cacimbas, considerando que o sedimento hospedeiro é arenoso (quartzo) e, portanto, não vai reter indicadores da presença de contaminante.

A contaminação nos aquíferos subterrâneos pode demorar muito a evidenciar-se, em consequência da lenta circulação de suas águas, capacidade de absorção dos terrenos e exploração difusamente distribuída, podendo atingir vastas áreas. A poluição das águas subterrâneas, quando detectada, envolve um volume alto de recursos para sua recuperação ou minimização da área degradada. É o contrário do que ocorre com os cursos d'água superficiais, nos quais as possíveis contaminações, sendo visíveis, permitem uma ação imediata para seu controle ou medidas reparadoras.

Referências Bibliográficas

- BEURLEN, K., 1967. Estratigrafia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa. Bol. Geol. São Paulo. 16(1): p. 43-53
- CARNEIRO, V. S. Impacto causado por necro-chorume de cemitérios: meio ambiente e saúde pública. In: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Natal, RN, 2008, p. 1-18.
- CONAMA. Resolução 335 de 3 de abril de 2003, DOU nº 101 de 28 de maio de 2003, Seção 1, páginas 98-99.
- FOSTER, S.; HIRATA, R. Groundwater Risk Assessment - A methodology using available data. Lima, Peru. Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences (CEPIS), 1995, 87 p. 87.
- FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data. Lima: CEPIS/PAHO/WHO, 1988.
- GUIGUER, N. Poluição das Águas Subterrâneas e do Solo Causada por Vazamentos em Postos de Abastecimentos. Waterloo Hydrology. Inc Warteloo, 2000. 356p.
- LINS, R. C.; ANDRADE, G. O. Diferentes combinações do meio natural na Zona da Mata Nordestina. São Paulo: Imprensa Universitária, 1964, p. 59.
- KATER, K. V. Estudo Ambiental da Vulnerabilidade das Áreas de Recarga do Aquífero Beberibe: Municípios de Igarassu e Itapissuma. 1999. 179p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil); Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- MABESONE, J. M. & ALHEIROS, M. M. 1988. Origem da bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba. Rev. Bras. Geoc. 18 (4):476-482.
- MACEDO, J. A. B. Águas & Águas. Ed. Belo Horizonte. CRQ – MG, 977p. 2004.
- MARINHO, A. M. C. P. Contaminação em Aquíferos por instalação de cemitérios: Estudo do caso do Cemitério São João Batista, Fortaleza - CE. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará/Centro de Ciências, Departamento de Geologia, 1996. 110p.
- NOGUEIRA, C.; COSTA JÚNIOR, J. E.; COIMBRA, L. A. Cemitérios e seus impactos Socioambientais no Brasil. Período Eletrônico Fórum Ambiental de Alta Paulista. Volume 9, número 11, 2013. P. 4.
- OLIVEIRA LIMA, A. T. Aplicação de Imagens Satelitais no Mapeamento de Aspectos Geológicos. Recife: Universidade Federal de Pernambuco Centro de Tecnologia Departamento de Geologia, 1993, p. 24 – 25.

- PACHECO, A. Os cemitérios como risco potencial para as águas de abastecimento. Revista SPAM, São Paulo, n. 17, p. 25-27, 1986.
- PINTO, C. de S.. Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas; Oficina de Textos, 2006. 3ª edição.
- RAND, H. M. 1976. Estudos geofísicos na faixa litorânea ao Sul de Recife. Tese de Livre Docência. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 112p.
- RIBEIRA, F. Calidad. Contaminación y protection de acuíferos in III Curso Hispanoamericano de Hidrologia Subterránea. 4 de octubre al 3 de diciembre de 2004, Montevideo-UY.
- RIBEIRO, D. M.; ROCHA, W. F.; GARCIA, A. J. V.; Vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos da sub-bacia do rio Siriri, Sergipe. Revista Águas Subterráneas, v. 25, n. 1, p. 91-102, 2011.
- SIRVINSKAS, L. P. Manual de Direito Ambiental. Editora Saraiva. São Paulo, 2015, 1000p, 13ª edição.
- TERZAGHI, K.; PECK, R. B. Mecânica de Suelos en la Ingenieria Practica. 2ª ed. Barcelona; Buenos Aires; Montevideo: Ed. El Ateneo, 1973.
- TINOCO, I. M. 1967. Micropaleontologia da Faixa Sedimentar Costeira Recife-João Pessoa. Soc. Bras. Geol., Bol. (16): 1. São Paulo, SP.