

VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: ESTUDO DE CASO EM SANTA ISABEL DO PARÁ

**Paulo Pontes Araújo¹; Eliene Lopes de Souza²; Antonio Carlos F. N. S. Tancredi³ &
Homero Reis de Melo Junior⁴**

Resumo - O presente trabalho foi desenvolvido na cidade de Santa Isabel do Pará, com cerca de 45.000 habitantes, abastecidos principalmente por poços tubulares e escavados rasos, situados em áreas sem rede de esgoto, onde os dejetos domésticos são lançados sobre o solo ou em sistemas de fossas do tipo seca e/ou negras. Esses sistemas constituem fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas por nitratos, sais, microrganismos patogênicos e outros. Na área ocorrem aquíferos confinados da Formação Pirabas e, aquíferos livres do Pós - Barreiras e Sedimentos Recentes. Os índices de vulnerabilidade do aquífero livre variam de moderado, alto a extremo. Nas zonas onde esses índices são *altos* ou extremos as águas são vulneráveis à maioria dos contaminantes, podendo ser atingidas de forma relativamente rápida por bactérias e vírus.

Abstract - This work was delineated in the town of Santa Isabel do Pará, which comprises around 45.000 habitants, feed mainly by tubular wells and shallow wells made manually, with sites close to areas with no urban reject disposal treatment, where domestic waste is disposed directly over the ground or in septic dry fosses. These systems constitute potential sources of contamination for groundwater by nitrates, salts, pathogenic microorganisms and others. On the area occur confined aquifers from Pirabas Formation and unconfined aquifers from Pós – Barreiras and recent sediments. The vulnerability indexes of unconfined aquifer are moderated, high and extremes. On the high or extremes indexes areas, the water is vulnerable to the most part of contaminants and can be reached relatively fast by bacteria and viruses.

Palavras-chave: vulnerabilidade – água subterrânea

¹ CPRM - Serviço Geológico do Brasil; DIGEAM; Av. Dr. Freitas, 3645; Belém; Pará; Brasil; (0XX91) 2768577; ppontes@amazon.com.br

² LUPA; Laboratório Unificado de Pesquisa e Assessoria; Belém; Pará; Brasil; (0XX91) 2220983

³ UFPA; Universidade Federal do Pará; CPGG; Belém; Pará; Brasil; (0XX91) 2111478; eliene@interconnect.com.br

⁴ Projeto SHIFT; Embrapa Amazônia Oriental; Belém; Pará; Brasil; (0XX91) 276.6539; homero@cpatu.embrapa.br

INTRODUÇÃO

O estudo da vulnerabilidade natural da água subterrânea à contaminação baseia-se na suposição de que o meio físico pode fornecer algum grau de proteção à penetração de contaminantes, considerando-se que o material geológico pode constituir-se em filtros naturais (Margat, 1968). No entanto, esta proteção natural varia em diferentes locais. A descrição do grau de vulnerabilidade da água subterrânea aos contaminantes é função também das características hidrogeológicas (Albinet & Margat, 1970). A camada não saturada, situada na parte superior do sistema hidrogeológico, e a capacidade de filtração do próprio material poroso que constitui o aquífero, exercem importante proteção à qualidade da água subterrânea, agindo como um sistema natural de tratamento de dejetos, constituindo-se na função filtro dos aquíferos (Hordon, 1977). O movimento da água na zona não saturada é geralmente lento e em ambiente aeróbico, propiciando a biodegradação da matéria orgânica, assim como a eliminação de microorganismos e a atenuação de substâncias químicas (Hirata, 1993).

Os resultados deste trabalho representam parte dos conhecimentos obtidos em um estudo mais abrangente, de dissertação de mestrado em Hidrogeologia Ambiental, realizado junto ao Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará.

O estudo foi desenvolvido na cidade de Santa Isabel do Pará, situada no nordeste do Estado do Pará, a 35 km de Belém. A cidade possui uma população estimada em 45.000 habitantes e apresenta um quadro ambiental composto por precipitações pluviométricas elevadas, solos com expressivas taxas de infiltração, grande número de fossas e poços (tubulares e escavados). É comum observar-se o lançamento de dejetos domésticos diretamente sobre o solo ou em sistemas de fossas do tipo seca e/ou negras. Os aquíferos livres constituem a principal fonte de abastecimento de água da população de baixa renda.

De um modo geral, as águas subterrâneas da área estudada apresentam indicadores de más condições sanitárias. Esse quadro foi caracterizado através da análise das águas freáticas, coletadas em poços que abastecem moradores da área, no âmbito do trabalho de mestrado acima mencionado. Nessas águas foi detectada a presença de coliformes totais e fecais, bem como a presença de amônio e nitrato em teores que atingem de 1,52 a 60,3 mg / L, respectivamente, superiores aos padrões de potabilidade para essas substâncias (Araújo, 2001). De acordo com a Organização Mundial de Saúde (UNICEF, OPS / OMS, ANESAPA, 1988), a interação fossa / poço é uma das causas mais comuns da má qualidade das águas de poços utilizadas para abastecimento humano.

LOCALIZAÇÃO E ACESSO À ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Santa Isabel do Pará está situada no nordeste do Estado do Pará, a 35 Km de Belém. Localiza-se entre os paralelos $01^{\circ} 17' 15''$ e $01^{\circ} 18' 40''$ e entre os meridianos $48^{\circ} 09' 54''$ e $48^{\circ} 10' 33''$ (Figura 1). O município homônimo faz limites com outros cinco, sendo Santo Antônio do Tauá ao norte, Castanhal a leste, Bujaru e Inhangapi ao sul, e Benevides a oeste.

O principal acesso à área é feito através de vias rodoviárias como a BR-316 e rodovias estaduais, integrando as diversas localidades existentes na região.

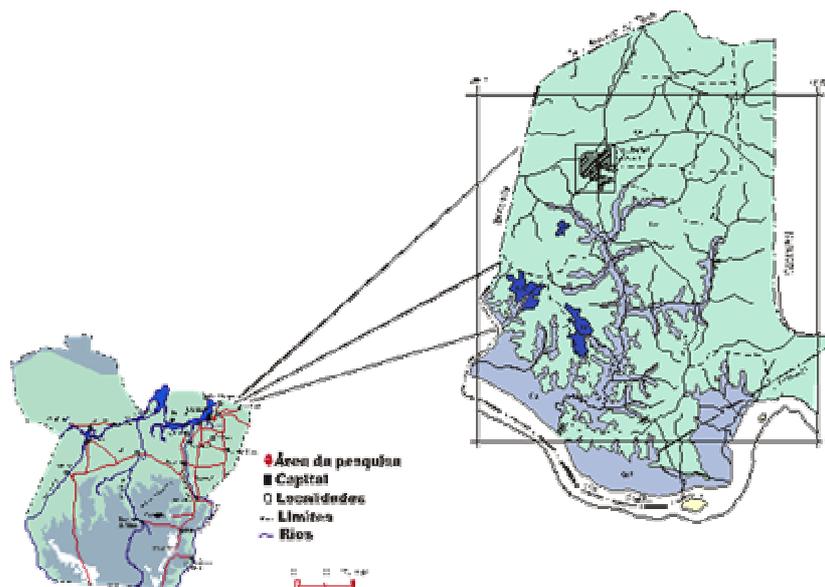


Figura 1 Localização da cidade de Santa Isabel do Pará, onde se situa a área de estudo

GEOLOGIA

Na cidade de Santa Isabel do Pará, de acordo com o perfil litológico de um poço tubular perfurado pela Fundação Nacional de Saúde para a captação de água subterrânea, foram identificadas quatro unidades geológicas: Formação Pirabas, Grupo Barreiras, Sedimentos Pós-Barreiras e os Sedimentos Recentes. Em superfície foram identificadas apenas as duas últimas unidades, ambas do Quaternário.

Os sedimentos da Formação Pirabas são subaflorantes na área objeto deste estudo, com o topo desta unidade ocorrendo a uma profundidade de 70 m.

Os sedimentos do Grupo Barreiras não afloram na área estudada e o topo desse pacote sedimentar ocorre a uma profundidade de 12 m.

Os sedimentos Pós-Barreiras, com cerca de 12 metros de espessura afloram em cerca de 85 % da área de trabalho, recobrando os sedimentos do Grupo Barreiras. A parte inferior do perfil, entre 6 e 12 metros de profundidade, exibe sedimentos mais arenosos, de granulação fina, com

intercalações argilosas e presença de concreções ferruginosas. Esses sedimentos são predominantemente claros (creme a amarelo). A parte superior é formada por sedimentos mais argilosos até a profundidade de 6 metros.

Os Sedimentos Recentes são constituídos tanto por sedimentos inconsolidados arenosos como lamosos. Estes depósitos são encontrados, principalmente, ao longo do igarapé Santa Isabel e afluentes menores, estando em maior proporção nas proximidades de barragens artificiais, onde se formam planícies de inundação. Estima-se que na zona urbana estudada, esses sedimentos possam apresentar espessuras da ordem de, no máximo, 10 m.

HIDROGEOLOGIA LOCAL

Os aquíferos constituídos pelos Sedimentos Recentes e Sedimentos Pós-Barreiras podem ser divididos em livres e/ou livres com cobertura. São constituídos por areias aluvionares, bem como por areias finas a médias e materiais argilo-arenoso, por vezes contendo níveis de concreções ferruginosas. O aquífero livre e / ou livre com cobertura é o principal foco do presente trabalho, sendo analisados especificamente os fatores controladores da ocorrência de compostos nitrogenados nas águas dos aquíferos Pós-Barreiras.

Os aquíferos constituídos pelos Sedimentos Recentes localizam-se em planícies do igarapé Santa Isabel e de seus tributários. Estima-se que suas espessuras atinjam em torno de 10 m. No restante da área, encontram-se os aquíferos do Pós-Barreiras, com espessura em torno de 12 m.

As feições geomorfológicas da área de estudo exercem grande influência nas condições hidrogeológicas dos aquíferos acima referidos. Tanto na parte leste como oeste situam-se as zonas mais elevadas da área, com altitudes que atingem 50 m, estando o nível hidrostático da água subterrânea situado a partir de 3,40 m. Estas áreas da cidade, com cotas topográficas mais elevadas, constituem-se em zonas de recarga da água subterrânea. Na parte central, situada geomorfologicamente na superfície de aplainamento, onde a erosão foi mais intensa e removeu parte dos estratos superiores, a litologia é constituída essencialmente por areias. A topografia, nestas zonas, é mais irregular, com altitudes decrescentes até a planície aluvionar do igarapé Santa Isabel, esta última com altitude em torno de 10 m. Nesta área, restrita à planície aluvionar, situam-se as zonas de descarga, com fluxos da água subterrânea para o igarapé Santa Isabel e seus tributários menores.

Localmente, os aquíferos do Grupo Barreiras são do tipo confinados, porém, considerando-se a área total estudada, podem ser considerados livres. Estes aquíferos são constituídos por camadas arenosas, com espessuras variando em torno de 15 m intercaladas com aquíferos de pequena espessura.

O topo dos aquíferos da Formação Pirabas está situado, em média, a uma profundidade a partir de 90 metros. Este fato restringe o acesso a esse aquífero a algumas indústrias, devido ao custo relativamente alto da perfuração de poços tubulares com essa profundidade. Esses aquíferos são compostos por areias de granulação fina a grossa e níveis com seixos arredondados a subarredondados, quartzosos. As areias intercalam-se com calcários fossilíferos, margas e folhelhos. Os aquíferos têm grandes extensões laterais e boas espessuras, o que os caracteriza como excelentes armazenadores de água, possuindo transmissividade significativas e vazões em torno de 300 m³ / h. Com essa vazão cada poço poderia abastecer até 6.400 domicílios (admitindo-se um consumo médio diário de 150 litros de água para 5 pessoas / residência).

METODOLOGIA

Para a avaliação dos índices de vulnerabilidade à contaminação, utilizou-se o modelo *GOD*, proposto por Foster e Hirata (1988), o qual fundamenta-se em três parâmetros:

G “Groundwater occurrence” que representa o tipo de ocorrência da água subterrânea, com índices variando de 0,2 ou mesmo nulo (aquíferos confinados) até 1,0 (para os aquíferos livres não cobertos).

O “Overall of litology of aquiperm” que expressa as características litológicas da zona não saturada, encontrando-se numa escala de 0,3 a 1,0. A determinação desse fator foi feita através de mapeamento geológico e no perfil litológico de um poço tubular profundo. Contudo, a delimitação e caracterização mais detalhada dessa zona foi obtida a partir das análises granulométricas dos sedimentos coletados em 3 perfurações (F1, F2 e F3) a trado manual de 4”.

D “Depth” refere-se à profundidade do nível estático. Considerou-se a profundidade referente ao período chuvoso, época em que o lençol freático se encontra mais próximo à superfície. Esse parâmetro, cujos valores podem variar de 0,3 a 0,9, foi obtido através de medidas diretas efetuadas em poços escavados..

O produto dos três parâmetros acima referidos, numa escala de 0 a > 0.6, permitiu definir os índices relativos de vulnerabilidade do aquífero, os quais expressam o seu grau de resistência natural à penetração de contaminantes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quanto ao tipo de ocorrência da água subterrânea ou modelo de circulação da água no aquífero freático, em toda a área estudada, há predominância de aquíferos livres e livres com cobertura, segundo a metodologia utilizada por Foster & Hirata (1988). Essa caracterização do tipo de ocorrência da água subterrânea forneceu para valores entre 0,6 e 1,0 para o parâmetro **G**.

Em termos de litologia, na zona saturada predominam sedimentos inconsolidados, cuja classificação granulométrica foi obtida através de análises, realizadas em amostras coletadas em três furos a trado. Os histogramas representativos dessas amostras são apresentados na Figura 2.

Conforme os resultados expressos no histograma apresentado, constata-se que a zona não saturada é composta predominantemente por sedimentos classificados como areia média à grossa (faixa dos grãos entre 0,25 e 1 mm), fornecendo índices de 0,5 e 0,7, respectivamente, para o parâmetro **O**. Essas características indicam um material com pouca capacidade de retenção de poluentes que possam estar presentes nas águas de infiltração.

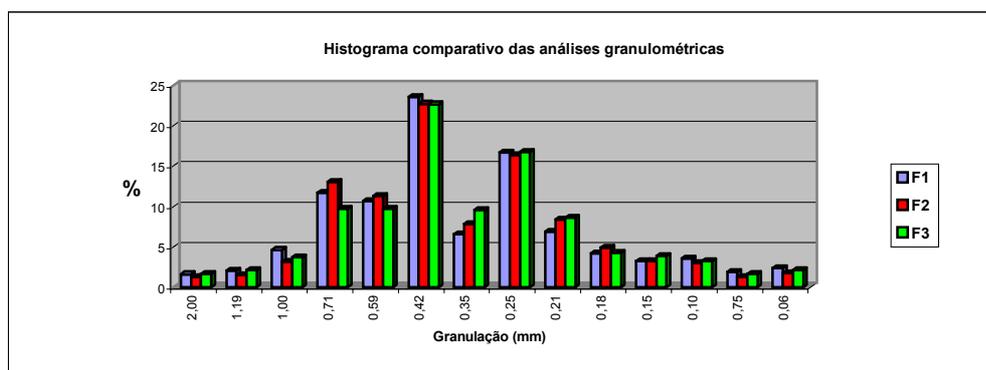


Figura 2 Histograma das amostras de sedimentos pela frequência simples (%)

No que se refere à profundidade da água subterrânea, os dados foram obtidos com base em medidas do nível estático coletadas durante o período chuvoso. Esses dados produziram, para profundidades da água entre 15 e 25 m, 5 e 15 m e < 5 m, índices de 0,7, 0,8 e 0,9, respectivamente, para o parâmetro **D**.

A partir dos dados apresentados nos parágrafos precedentes, determinou-se os índices de vulnerabilidade do aquífero, conforme a metodologia descrita no item 4 e visualizados em mapa na Figura 3. Os valores obtidos mostram que os aquíferos dos sedimentos do Pós-Barreiras e dos Sedimentos Recentes, possuem áreas com índices de vulnerabilidade à contaminação moderado (0,33 - 0,49) a alto (0,49 - 0,56), assim como áreas com índice de vulnerabilidade extremo (> 0,6). Estes valores sinalizam as zonas desses aquíferos que podem ser adversamente afetadas por uma carga qualquer de contaminantes (Foster, 1987).

Em zonas onde o índice de vulnerabilidade é *moderado*, as águas dos aquíferos podem, em longo prazo, sofrer modificações por contaminantes moderadamente móveis, mais persistentes como hidrocarbonetos halogenados ou não halogenados e alguns metais pesados. Sais menos solúveis são também incluídos nesse grupo. Nas zonas onde o índice de vulnerabilidade é *alto*, as águas dos aquíferos são suscetíveis a muitos contaminantes exceto aqueles que são muito

absorvíveis e / ou facilmente transformáveis. Nas zonas onde o índice de vulnerabilidade é *extremo*, as águas dos aquíferos podem ser atingidas de forma relativamente rápida por contaminantes degradáveis, como bactérias e vírus, sendo vulneráveis à maioria dos contaminantes (Costa, 1997).

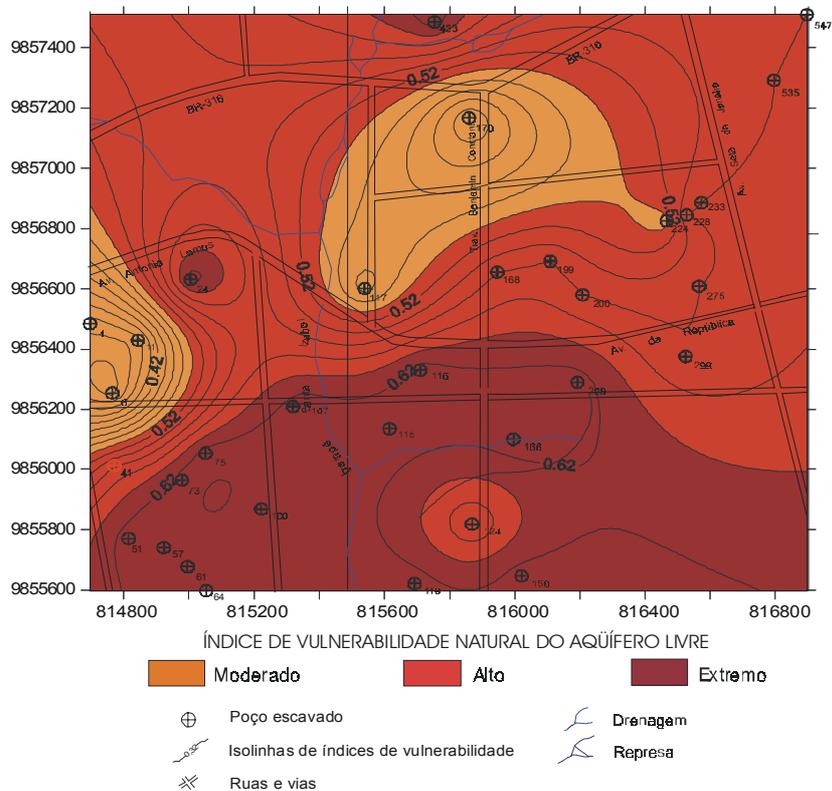


Figura 3 Vulnerabilidade do aquífero Pós-Barreiras em Santa Isabel do Pará

CONCLUSÕES

Na cidade de Santa Isabel do Pará afloram Sedimentos Recentes, arenosos, com siltes intercalados de idade quaternária, distribuídos nos leitos dos igarapés, e sedimentos areno-argilosos a argilo-arenosos atribuídos aos Sedimentos Pós-Barreiras, também do Quaternário.

A hidrogeologia apresenta uma zona não saturada com espessura variando de 0,26 a 12 metros, composta por areia média a grossa, com condutividade hidráulica entre 10^{-3} a 10^{-4} cm /s. Esse material apresenta porosidade total entre 18 e 21%. Os aquíferos livres do Pós-Barreiras apresentam espessura em torno de 10 a 12 metros.

Os índices de vulnerabilidade à contaminação, que nos aquíferos dos Sedimentos Pós-Barreiras e Recentes variam de *moderado*, *alto* e *extremo*, favorecem a contaminação das águas freáticas. A profundidade do lençol freático, que no período chuvoso atinge 0,26 m, assim como a proximidade entre as fossas e os poços e a inadequada construção destes últimos, são outros fatores que contribuem para a degradação da qualidade das águas. Nas zonas onde o índice de vulnerabilidade é *alto* ou *extremo* as águas são vulneráveis à maioria dos contaminantes, podendo ser atingidas de forma relativamente rápida por bactérias e vírus.

Este estudo aponta a necessidade de ações governamentais visando a proteção da água subterrânea e, conseqüentemente, da saúde pública, destacando-se a melhoria no sistema de abastecimento de água potável e saneamento *in situ*, bem como na disposição de resíduos domésticos. É igualmente importante o estudo da dinâmica das águas subterrâneas dos aquíferos da Formação Pirabas, na cidade de Santa Isabel do Pará. Esses aquíferos ocorrem a partir de 70 m de profundidade e, segundo dados obtidos em Belém e em municípios próximos, possuem água de boa qualidade para consumo humano além de elevada transmissividade, fatores que apontam essa unidade como a melhor alternativa para abastecimento doméstico na área de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBINET, M. & MARGAT, J. 1970. *Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine*. Bull. BRGM, Orléans, 2 ème, 3 (4):12-22.
- ARAÚJO, P. P. 2001. **Variações sazonais dos compostos nitrogenados, em aquífero livre na zona urbana de Santa Isabel do Pará, nordeste do estado do Pará**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Tese (Mestrado em Hidrogeologia) – curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. 113 p.
- COSTA, W. D. 1997. **Contaminação e programas de monitoramento de águas subterrâneas**. Impactos Ambientais e Águas Subterrâneas no Brasil – Rio de Janeiro.
- FOSTER, S. S. D. & HIRATA, R. 1988. **Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data**. CEPIS-PAHO / WHO. Lima. 78 p.
- HIRATA, R. (1993). Recursos hídricos subterrâneos e as novas exigências ambientais. Rev. do Instituto Geológico.
- HORDON, R. M. 1977. Water Supply as a Limiting Factor in Developing Communities. Endogenous us Exogenous. Water Res. Bull (13) 433-939.
- MARGAT, J. 1968. **Vulnérabilité des nappes d'eau souterraines à la pollution. Baes de la cartographie**. Orléans BRGM, 68 SGL, 198 HYD, 1968.
- UNICEF, OPS / OMS, ANESAPA (1988). **Manual de pozos**. Série: La Paz. Bolívia. (Manuales Didáticos).