

TEORES DE NITRATO (NO₃⁻) E AMÔNIO (NH₄⁺) NAS ÁGUAS DO AQUÍFERO BARREIRAS NOS BAIROS DO REDUTO, NAZARÉ E UMARIZAL – BELÉM/PA

Natalina Maria Tinôco Cabral*

Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 59072-970 Natal – RN, Brasil

Recebido em 1/6/06; aceito em 11/5/07; publicado na web em 16/10/07

NITRATE (NO₃⁻) AND AMMONIUM (NH₄⁺) CONTENTS IN THE BARREIRAS AQUIFER WATERS IN THE DISTRICTS OF REDUTO, NAZARÉ AND UMARIZAL – BELÉM, PA. This paper evaluates the occurrence of nitrate and ammonium in the Barreiras aquifer in the metropolitan area of Belém, Pará State, Brazil. The results show that some wells display ammonium and nitrate concentrations above or close to the limits of water potability regulations. The main cause of the pollution of these waters is related the local disposal of domestic effluents and/or leakage from pipes of old sewage systems.

Keywords: nitrate; ammonium; domestic effluent.

INTRODUÇÃO

O comprometimento da qualidade das águas subterrâneas se intensifica nas cidades densamente povoadas que fazem uso do sistema de saneamento *in situ* (quer por fossas sépticas ou fossas rudimentares) e são abastecidas, totais ou parcialmente, por águas subterrâneas captadas de aquíferos rasos, livres ou semiconfinados. Dentre os contaminantes presentes nesse sistema de saneamento destacam-se o nitrato (NO₃⁻) e o amônio (NH₄⁺). Além do saneamento *in situ*, o uso de fertilizantes agrícolas e a criação de animais constituem outras importantes fontes de nitrato e/ou amônio em água subterrânea.

A avaliação da ocorrência de nitrato bem como de outros compostos nitrogenados, nas águas de abastecimento, é importante face aos riscos que essas substâncias oferecem à saúde humana. Nitrato em teores superiores a 10 mg L⁻¹ NO₃⁻ - N (45 mg L⁻¹ NO₃⁻) pode causar doenças como meta-hemoglobina (“baby blue syndrome”) e câncer gástrico¹. Pesquisas, ainda não conclusivas, tentam comprovar que concentrações elevadas de meta-hemoglobina no sangue de gestantes, ocasionadas pela ingestão de altas concentrações de nitrato em água, podem induzir aborto espontâneo e má formação do feto². Soma-se a esses efeitos o fato de o nitrato ser uma espécie química persistente, móvel e que não degrada facilmente em meio aeróbico subterrâneo, podendo migrar por grandes distâncias a partir do local de origem³. O amônio (NH₄⁺), por outro lado, em altas concentrações já é um indicativo de que pode ocorrer uma oxidação para nitrato (processo de nitrificação⁴), aumentando assim os teores dessa substância no meio.

Em Belém grande parcela dos condomínios residenciais utiliza para abastecimento, poços que captam água do aquífero Barreiras. Estes são locados, na maioria das vezes, sem levar em consideração os aspectos hidrogeológicos desse aquífero e as proximidades de fossas sépticas ou de fossas rudimentares. A consequência dessa prática já é evidente, a julgar pelos teores de nitrato e amônio encontrados em água de alguns poços condominiais e residenciais em bairros de Belém, com teores atingindo até a 61 e 12 mg L⁻¹, respectivamente^{5,6}, ou seja, acima do padrão de potabilidade da Portaria 518 do Ministério da Saúde⁷. Na região

metropolitana de Belém, os teores de nitrato e amônio dessas águas apresentam comportamentos semelhantes, conforme os dados levantados por diversos autores^{8,9}.

Considerando a importância dos aspectos levantados, o objetivo deste trabalho foi avaliar a magnitude da contaminação das águas do aquífero Barreiras por nitrato (NO₃⁻) e amônio (NH₄⁺) em bairros localizados na porção central de Belém/PA, em vista da grande quantidade de condomínios residenciais que fazem uso tanto de água subterrânea oriunda do aquífero Barreiras para seu abastecimento, bem como utilizam o sistema de saneamento *in situ* para depositar seus dejetos. É importante destacar que o aquífero Barreiras, nessa região de Belém, se apresenta como raso, livre e/ou semiconfinado.

PARTE EXPERIMENTAL**Localização e aspectos geológicos de área de estudo**

Para o desenvolvimento do trabalho, foram selecionados três bairros centrais da cidade de Belém/PA: Reduto, Nazaré e Umarizal, totalizando cerca de 15 km² (Figura 1). Estes bairros estão, em parte, localizados próximos a igarapés que cortam a cidade. Essas feições hidrográficas são marcantes na cidade e com a expansão e desenvolvimento urbano foram transformados em esgotos a céu aberto, recebendo efluentes domésticos e industriais sem nenhum tratamento prévio.

Na escolha destes bairros, levou-se em consideração vários fatores que poderiam caracterizar e/ou relacionar melhor o tipo de contaminação em estudo. Dentre os fatores, podem ser citados que parte da área estudada possui grande densidade populacional, uma rede de esgoto antiga e uma alta concentração de condomínios residenciais de classe média. Deve-se acrescentar, ainda, que a maioria dos condomínios residenciais existentes na área, faz uso de sistema de saneamento *in situ* e utiliza águas subterrâneas provenientes de aquíferos rasos e semilivres.

Vale destacar que a população total dos bairros em foco é de 55.769 habitantes, sendo o bairro do Reduto o de menor densidade demográfica (8.000 hab km⁻²) e o de Nazaré o mais densamente habitado (12.000 hab km⁻²), seguido por Umarizal (11.344 hab km⁻²). Quanto à cobertura da rede de esgoto público, os bairros do Reduto e Nazaré são os melhores assistidos, enquanto que as fos-

*e-mail: natalinacabral@gmail.com

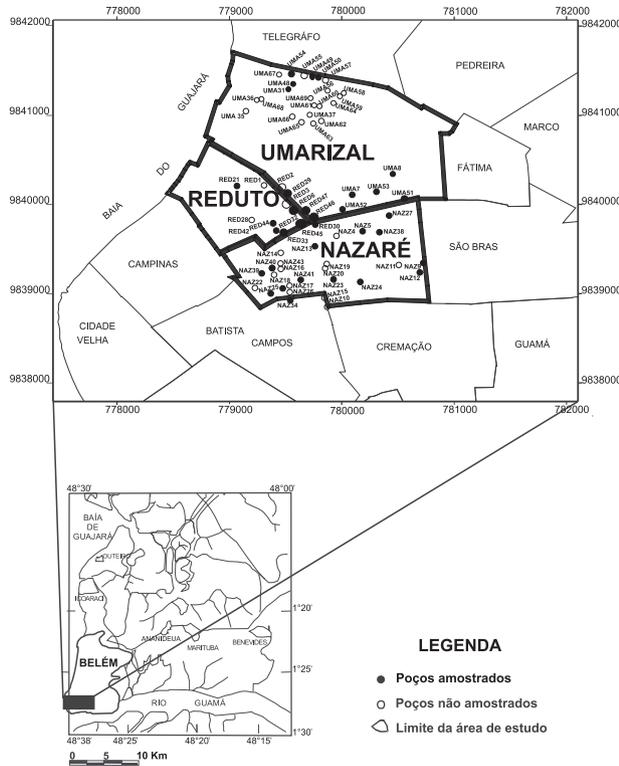


Figura 1. Área de estudo com a distribuição dos poços cadastrados

sas sépticas são mais comuns no bairro de Umarizal, com 2.889 domicílios atendidos por esse sistema¹⁰.

Os sedimentos terciário-quaternários que compõem o arcabouço geológico da região de Belém e adjacências guardam três sistemas aquíferos: Pós-Barreiras, Barreiras e Pirabas, sendo associados às unidades geológicas homônimas⁹. No presente estudo o enfoque foi dado ao aquífero Barreiras por ser o mais explorado por condomínios residenciais.

O aquífero Barreiras corresponde aos sedimentos do Grupo Barreiras, sendo constituído por areias de granulometria variando de finas a grossas, às vezes ocorrendo cascalhos. Os níveis arenosos estão, geralmente, intercalados com argilas, levando a uma limitação de sua espessura útil. O contato superior desse aquífero é delimitado por sedimentos Pós-Barreiras areno-argiloso, com espessura variando de 0,2 a 10 m. Já o contato inferior é marcado pelos sedimentos da Formação Pirabas. Na área de estudo, dois poços profundos, interceptaram esse contato a uma profundidade em torno de 100 m.

De acordo com as correlações de perfis dos poços cadastrados efetuados por Cabral⁶, o aquífero Barreiras na área mostra-se do tipo raso, livre a semiconfinado. Sua espessura mínima é em torno de 5,0 m e a máxima de 16 m, enquanto o nível estático varia de 1,5 a até 11 m. A profundidade dos poços cadastrados está na faixa de 18 a 30 m. A Figura 2 exemplifica uma seção geológico-hidrogeológica, englobando os poços Red28, Red29, Red6, Uma7 e Uma8, nos bairros do Reduto e Umarizal.

Materiais e métodos

Foi elaborado um cadastro de poços tubulares rasos (até 30 m de profundidade) condominiais da área, os quais foram georeferenciados usando Ground Position System – GPS, modelo Garmin III. Esses poços foram plotados na base cartográfica digital da Companhia de

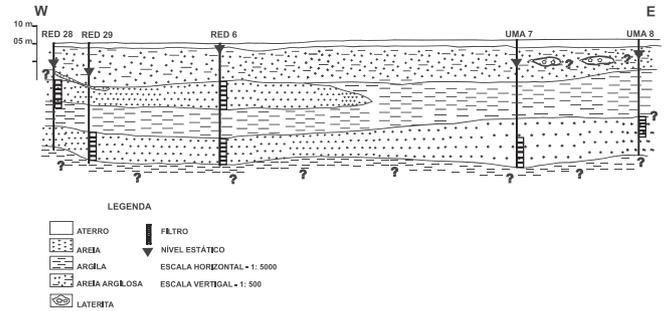


Figura 2. Seção geológico-hidrogeológica com poços dos bairros do Reduto e Umarizal

Desenvolvimento da Área Metropolitana de Belém¹¹, na escala 1:5.000. Para o presente estudo foram selecionados 35 poços que representam cerca de 50% do universo de 69 poços cadastrados. Na identificação dos poços foram utilizadas as três primeiras letras do bairro, seguidas do número de ordem do poço. A Tabela 1 mostra a quantidade de poços amostrados por período sazonal regional¹². As diferenças observadas com relação aos números de poços amostrados devem-se à impossibilidade, nas etapas de amostragem, de se coletar água de todos os 35 poços selecionados. Essa impossibilidade decorreu de problemas técnicos como, por exemplo, quebra da bomba d’água ou por impedimento da coleta por responsáveis dos condomínios, refletindo a falta de compreensão e conscientização de parte da população sobre trabalhos dessa natureza.

Tabela 1. Números de poços amostrados durante as nove campanhas de amostragem

Mês/ano	Período Sazonal	Nº de poços amostrados
Junho/2000	Final do período chuvoso	15
Junho/2001		32
Junho/2002		15
Setembro/2000	Período de estiagem	25
Setembro/2001		27
Dezembro/2000	Início do período chuvoso	25
Dezembro/2001		27
Fevereiro/2002	Período chuvoso	23
Março/2002		25

Nos poços selecionados foram realizadas nove campanhas de amostragem obedecendo à distribuição pluviométrica da região¹² (Tabela 1 e Figura 3). Foram efetuadas coletas de água durante o final do período chuvoso (junho/2000/2001/2002), na estiagem (setembro/2000/2001) e no início do período chuvoso (dezembro/2000/2001). Nos meses de fevereiro e março/2002 foram realizadas as duas últimas amostragens, que correspondem ao período de máximas chuvas da região. Nesse período, a profundidade do nível d’água

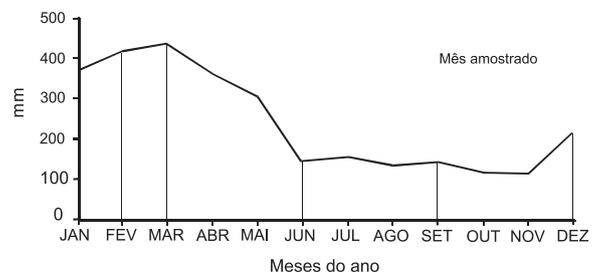


Figura 3. Médias pluviométricas mensais para região de Belém no período de 1961 a 1990 (Gráfico construído a partir dos dados do INMET¹²)

do aquífero livre/ou semilivre torna-se menor e, portanto, mais próxima das fontes de contaminação (fossas sépticas e/ou vazamentos da rede de esgoto).

Os procedimentos de coleta e preservação das amostras de água seguiram os critérios do APHA¹³. As medidas de condutividade elétrica (CE) e pH foram determinadas *in situ* utilizando, respectivamente, o condutivímetro portátil modelo 4200/Jenway e o pHmetro portátil CG837/Schott. As análises de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) foram realizadas no Laboratório de Taxologia do Instituto Evandro Chagas/Belém/Pará, utilizando um espectrofotômetro marca Hach – DR/2000. Para o NH_4^+ utilizou-se o método Nessler/8038 e para o NO_3^- a redução de cádmio/8039.

Cabe destacar que para o controle de qualidade das análises laboratoriais, cerca de 60% amostras de água, na determinação do nitrato e amônio, foram analisadas em duplicata. Os teores entre os pares de amostras foram semelhantes com variações sempre inferiores a 5%.

Os resultados provenientes das diferentes análises foram agrupados pelos meses de coletas, independente do ano. Por exemplo, as coletas de água nos meses de dezembro, nos diferentes anos, estão juntas, representando, portanto, a soma das amostras analisadas no início do período chuvoso da região. Esse procedimento permitiu um melhor entendimento do período climático que este mês representava. Ressalta-se que, pelos motivos anteriormente expostos, não foi possível, durante as campanhas de amostragem, coletar água em todos os poços selecionados.

Para a interpretação dos dados obtidos das diferentes campanhas foi utilizado o recurso do software Statistica Staf Soft 158, a partir de tratamento de estatística básica e descritiva.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 2 e 4 observam-se o número de amostras analisadas para nitrato e amônio, a média, valores extremos e desvio padrão nas águas do aquífero Barreiras nos bairros do Reduto, Nazaré e Umarizal, durante os períodos de amostragens. Já as Tabelas 3 e 5 mostram a distribuição de frequência para as concentrações de nitrato e amônio.

De acordo com a Tabela 2 quando são analisados os valores médios para nitrato, constata-se que as médias nos diferentes períodos de amostragem não apresentaram grandes mudanças, variando de 28,0 (meses de setembro e fevereiro) a 31,7 mg L⁻¹ (mês de junho). Por outro lado, o estudo das distribuições de frequências para nitrato (Tabela 3), nos períodos amostrados, indica que a maior percentagem das amostras se posiciona, sempre, entre os teores de 20 a 40 mg L⁻¹, com variação de 59% no mês de setembro até 74% em março. Para teores de nitrato abaixo de 20 mg L⁻¹, nota-se uma concentração de amostras com um mínimo de 12% em março e um máximo de 29% no mês de setembro. As distribuições de frequências mostram, ainda, que a percentagem de casos com teores de nitrato acima de 40 mg L⁻¹ variam de 10% em fevereiro a 26% em junho. De maneira geral, as distribuições dos teores de nitrato nos meses amostrados apresentam um comportamento similar com uma concentração maior de casos nos teores centrais (20 a 40 mg L⁻¹) e percentagens menores nas faixas com teores inferiores a 20 e maiores que 40 mg L⁻¹. Essa similaridade na disposição dos teores de nitrato, tendendo a uma distribuição normal, explica a pouca variação nos teores médios e os valores relativamente baixos dos desvios padrões que, conseqüentemente, levam a moderados a baixos coeficientes de variações.

Em relação ao amônio, componente menos oxidado que o nitrato, a Tabela 4 mostra teores médios bastante similares, posicionados

Tabela 2. Número de amostras (N), média, faixa e desvio padrão para a concentração de nitrato (mg L⁻¹) nas águas dos poços tubulares estudados

Mês	N	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão
Junho	56	31,7	4,8	55,0	12,0
Setembro	59	28,0	3,5	54,6	12,5
Dezembro	52	29,8	2,6	55,4	11,2
Fevereiro	23	28,0	6,2	43,0	9,2
Março	23	30,5	6,2	45,0	9,2

Tabela 3. Frequências das concentrações de nitrato (mg L⁻¹) nas águas dos poços tubulares estudados

Mês	Concentração (mg L ⁻¹)		
	< 20	20 - 40	> 40
Junho	14%	60%	26%
Setembro	29%	59%	12%
Dezembro	18%	64%	18%
Fevereiro	17%	73%	10%
Março	12%	74%	13%

em uma faixa de 1,4 (setembro) a 1,9 mg L⁻¹ (junho). As distribuições de frequências dos valores de amônio, nos períodos de amostragens, também apresentam semelhanças com a característica comum de uma distribuição truncada à esquerda (Tabela 5). Observa-se, sempre, uma maior concentração das amostras com teores de amônio entre 0,01 a 1 mg L⁻¹, que varia de 52% de casos em junho até 59% de amostras em fevereiro. Existe, também, uma distribuição similar na faixa de teores de 1 a 3 mg L⁻¹ com as percentagens de amostras variando de 25% nos meses de junho, dezembro e março até 29% em setembro. A Tabela 4 mostra, ainda, que os valores de desvios padrões são mais altos que as médias, como conseqüência do padrão de distribuição truncada à esquerda. Salienta-se que mesmo que os desvios padrão sejam relativamente homogêneos, os valores mais altos refletem uma maior quantidade e teores mais expressivos de “outliers”.

Tabela 4. Número de amostras (N), média, faixa e desvio padrão para a concentração de amônio (mg L⁻¹) nas águas dos poços tubulares estudados

Mês	N	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão
Junho	58	1,9	0,01	8,8	2,4
Setembro	56	1,4	0,01	7,3	1,8
Dezembro	48	1,7	0,01	8,0	2,2
Fevereiro	22	1,5	0,02	10,6	2,4
Março	20	1,7	0,02	8,0	2,4

Tabela 5. Frequências das concentrações de amônio (mg L⁻¹) nas águas dos poços tubulares estudados

Mês	Concentração (mg L ⁻¹)		
	< 1	1 - 3	> 3
Junho	52%	25%	26%
Setembro	54%	29%	18%
Dezembro	54%	25%	20%
Fevereiro	59%	29%	15%
Março	55%	25%	20%

Tabela 6. Número de amostras (N), média, faixa e desvio padrão de pH para a nas águas dos poços tubulares estudados

Mês	N	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão
Junho	62	5,7	3,5	7,2	0,82
Setembro	59	5,1	4,0	6,7	0,82
Dezembro	52	5,5	4,0	6,7	0,72
Fevereiro	23	5,0	3,8	6,4	0,92
Março	23	5,5	3,8	6,3	0,84

Os teores de nitrato e amônio ao longo dos períodos de amostragem foram acompanhados com medidas de pH e condutividade elétrica (CE). Conforme a Tabela 6 verifica-se que, a exemplo dos teores médios dos parâmetros anteriores, os valores médios de pH também não mostram diferenças significativas, com as médias variando de 5,1 a 5,7. Observa-se, ainda, que em todos os períodos os resultados de pH se posicionam numa faixa entre um mínimo de 3,5 a 4,0 e um máximo de 6,3 a 7,2. Então, os valores de pH, nos períodos amostrados, mostram similaridades tanto nos valores médios, como na variação entre teores mínimos e máximos. Cabe destacar que no estudo desenvolvido por Sioli¹⁴ nos aquíferos Quaternário/Barreiras nas proximidades de Belém, foram obtidos valores de pH na faixa de 5,7 a 6,4, para poços aparentemente contaminados por fossas e esgotos domésticos. Essa faixa assemelha-se aos valores de pH dos poços deste trabalho, que estão acima da média obtida.

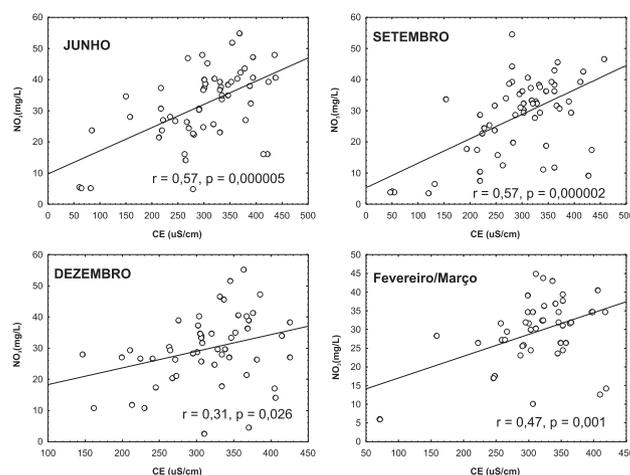
Tabela 7. Números de amostra (N), média, faixa e desvio padrão, da condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) nas águas dos poços tubulares estudados

Mês	N	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
Junho	62	297	60,4	437	88,8
Setembro	59	290,5	45	456	90,8
Dezembro	52	308	125	425	68,1
Fevereiro	23	305	70	409	78,4
Março	23	314	70	418	70,5

Um outro parâmetro analisado, importante na caracterização sazonal dessas águas, é a condutividade elétrica (CE), visto que águas captadas no aquífero Barreiras não contaminadas por efluentes domésticos apresentam valores menores que $50 \mu\text{S cm}^{-1}$ ¹⁵. Assim, se águas estudadas apresentarem valores acima deste limiar, pode-se pensar na possibilidade de as mesmas estarem contaminadas em decorrência dessa atividade antrópica. A Tabela 7 retrata as variações dos valores da condutividade elétrica nos diferentes períodos de amostragem. No início do período chuvoso, representado pelo mês de dezembro, e os meses chuvosos (fevereiro e março) os valores médios de CE variam de 308 a $314 \mu\text{S cm}^{-1}$, que são discretamente mais elevados que os dois outros períodos. O mês de setembro, período de estiagem, foi o que mostrou menor média ($290,5 \mu\text{S cm}^{-1}$). Os valores obtidos permitem afirmar que as águas estudadas estão enriquecidas, com os valores máximos, em todos os períodos, estando sempre acima de $400 \mu\text{S cm}^{-1}$.

Com base em análises de correlações entre nitrato e CE, observa-se que o comportamento desses dois parâmetros apresenta semelhanças (Figura 4). Essa observação é respaldada quando se analisam os resultados de nitrato e CE nos períodos de junho, setembro, dezembro e, conjuntamente, de fevereiro e março. Nota-se, em todos os períodos, uma correlação positiva entre esses dois parâmetros, indicada tanto pelos coeficientes de correlação (r),

como pelas distribuições das amostras nos diagramas NO_3^- X CE (Figura 4). Os valores de r variaram de +0,31 em junho a +0,57 tanto no período de junho como no de setembro, enquanto que os diagramas confirmaram essas correlações positivas, mostrando, por exemplo, que a maior parte das amostras com valores de NO_3^- maiores que 30 mg L^{-1} apresentam resultados de CE elevados, em geral superiores a $250 \mu\text{S cm}^{-1}$.

**Figura 4.** Diagramas de correlações de nitrato (NO_3^-) com a condutividade elétrica (CE) para cada período de amostragem

As análises dos valores médios de nitrato, amônio, pH e CE, indicam, para cada parâmetro, uma boa homogeneidade com, apenas, pequenas variações ao longo dos períodos amostrados. No mesmo sentido, as distribuições de frequências do nitrato e amônio, em todos os meses amostrados, mostram comportamentos similares. Essas condições não seriam as esperadas, considerando-se que as águas estudadas são captadas em aquíferos rasos e que teriam, desta forma, uma influência marcante da sazonalidade nas variações das concentrações. O teor de nitrato, por exemplo, deveria estar mais diluído no final do período chuvoso, o que, na realidade, não aconteceu.

O enriquecimento dessas águas com nitrato e/ou amônio nos três bairros estudados, independente do período sazonal amostrado, foi observado por Cabral⁶. Essa similaridade de comportamento entre os bairros seria de se esperar, considerando que são vizinhos e que suas condições hidrogeológicas e de saneamento são semelhantes.

Um outro aspecto que merece ressalva está associado à presença de elevadas concentrações de amônio abaixo do nível de água, que, nos poços estudados, variam de 1,5 a até 11 m de profundidade. Esse comportamento não é comum, desde que o amônio, normalmente, sofre adsorção quase completa nos primeiros metros do solo¹⁶. Uma provável explicação está relacionada à oxidação incompleta do efluente de fossa séptica/negra na zona não saturada. Esta situação pode ser ocasionada pelo curto tempo de residência do efluente na zona não saturada, devido a várias razões, como alta permeabilidade, grande quantidade da carga de efluente doméstico e nível freático raso¹⁷.

Diante dessas considerações, pode-se pensar que a carga urbana proveniente dos efluentes domésticos tem maior importância no comportamento dessas águas, em detrimento às variações sazonais locais. Essa explicação, para entender a contaminação das águas do aquífero Barreiras por nitrato e/ou amônio na área de estudo, é relevante, pois mostra que o processo de urbanização leva à pavimentação e impermeabilização de grandes áreas (ruas, coberturas de residências etc), reduzindo a recarga natural dos aquíferos, isto é, aquela proveniente da infiltração da água de precipitação pluviométrica. A diminuição

ção dessa recarga natural dos aquíferos afeta, conseqüentemente, o fluxo subterrâneo e a diluição de contaminantes, enquanto que a recarga oriunda dos efluentes domésticos tende a ser crescente e constante.

Essa possibilidade encontra respaldo no estudo realizado por Melo¹⁸, na zona urbana de Natal/RN, no qual o autor verificou uma correlação direta e positiva entre a densidade populacional e o nível de nitrato nas águas subterrâneas, já que a alta taxa de ocupação dessas áreas reduz a infiltração das águas pluviais, dificultando a lixiviação dos solos, reduzindo a diluição dos contaminantes e resultando em teores de nitrato mais elevados.

Com relação à potabilidade dessas águas nota-se que a média e valor máximo tanto de nitrato como de amônio estão acima ou próximo do limite permitido pela portaria 518 do Ministério da Saúde⁷, que são $10 \text{ mg L}^{-1} \text{ NO}_3^- - \text{N}$ ($45 \text{ mg L}^{-1} \text{ NO}_3^-$) e $1,9 \text{ mg/L NH}_4^+ - \text{N}$ ($1,5 \text{ mg L}^{-1} \text{ NH}_3^+$) respectivamente, independentemente do período de amostragem. Acrescenta-se ainda, que os poços Uma8, Uma7, Red6, Red21 e Naz24, dentre outros, apresentam teores de nitrato e/ou amônio similares aos encontrados por outros autores nas águas subterrâneas contaminadas por efluentes domésticos¹⁹.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados, as águas estudadas não mostram variações significativas nos teores médios de nitrato, amônio, pH e CE ao longo dos períodos de amostragem. Esses dados mostram que os fatores antrópicos têm maior influência na evolução dos teores de nitrato e amônio, nessas águas, que os sazonais. Por outro lado, as altas concentrações de amônio, os valores da condutividade elétrica elevados e o comportamento do pH indicam que as águas subterrâneas da área de estudo estão sendo afetadas por fontes de contaminações ricas em matéria orgânica, decorrentes, provavelmente, da deposição local de efluentes domésticos, utilizados em alguns condomínios residenciais ou ainda, dos vazamentos da rede de esgoto.

A presença de teores elevados de amônio já é um indicativo de que, ocorrendo a oxidação para nitrato, poderá aumentar os teores dessa substância e vir a ultrapassar o limite de potabilidade ($10 \text{ mg L}^{-1} \text{ NO}_3^- - \text{N}$ ou $45 - \text{mg L}^{-1} \text{ NO}_3^-$ - Portaria 518⁷). Ressalta-se que percentuais significativos das concentrações de nitrato e amônio já

estão próximos ou acima dos valores permitidos para o consumo humano, estabelecidos nessa Portaria, conforme as Tabelas 3 e 5. Os resultados dessas tabelas são preocupantes devido ao fato de águas dos poços não contaminados por efluentes domésticos, na região de Belém, apresentarem respectivamente os teores de nitrato e amônio, na faixa de $< 1,0 \text{ mg L}^{-1} - \text{NO}_3^-$ e $0,1 \text{ mg L}^{-1} - \text{NH}_4^{+20}$.

Um outro aspecto, que deve ser considerado, é que a área já se encontra na sua grande parte pavimentada e impermeabilizada, reduzindo, assim, a taxa de recarga natural dos aquíferos e, conseqüentemente, afetando o fluxo subterrâneo e influenciando, também, no processo de diluição dos contaminantes.

REFERÊNCIAS

- USEPA - U. S. Environmental Protection Agency; *Drinking water regulation and health advisories*, Offices of water: Washington, 1995.
- Aschengrau, A.; Zierler, S.; Cohen, A.; *Arch. Environ. Health*, **1989**, *44*, 283.
- Foster, S.; Hirata, R.; *Boletim do Instituto de Geociências* **1993**, *10*.
- Wilhelm, S. R.; Schiff, S. L.; Cherry, J. A.; *Groundwater* **1994**, *32*, 905.
- Vilhena, L.; Vale, S. B.; Menezes, L. B. C.; Braz, V. N.; *Anais do 7º Encontro de Profissionais de Química da Amazônia*, Belém, Brasil, 1991.
- Cabral, N. M. T.; *Tese de Doutorado*, Universidade Federal do Pará, Brasil, 2004.
- Brasil - Ministério da Saúde; Portaria 518/2004.
- Araújo, P. P.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Pará, Brasil, 2001.
- Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais; *Relatório do Projeto de estudos hidrogeológicos da região Metropolitana de Belém e Adjacências*, Belém/PA, 2001.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.; *Censo demográfico do Pará*, 2000.
- Companhia de Desenvolvimento da Área Metropolitana de Belém, 1999, Base digital (CD-Room).
- <http://www.inmet.gov.br>, acessada em Maio 2000.
- Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*, 19th ed., American Public Health Association: Washington, 1995.
- Sioli, H.; *Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do Norte* **1960**, *37*, 11.
- Cortez, C. M. B.; Tagliarini, E. M.; Tancredi, A. C. F. N. S.; *Anais do I Joint World Congress on Groundwater*, Fortaleza, Brasil, 2000.
- Ferreira, L. M. R. A.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade de São Paulo, Brasil, 1999.
- Ptacek, C. J.; *J. Contam. Hydrol.* **1998**, *33*, 293.
- Melo, J. G.; *Tese de Doutorado*, Universidade de São Paulo, Brasil, 1995.
- Robertson, W. D.; Blowes, D. W.; *Groundwater* **1995**, *33*, 275.
- Piratoba, M. G.; *Tese de Doutorado*, Universidade Federal do Pará, Brasil, 2002.