

# COMPORTAMENTO DO NITRATO, AMÔNIO E DE DOS OUTROS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EM ÁGUA DE POÇO TUBULAR E DE MONITORAMENTO NO BAIRRO DO UMARIZAL EM BELÉM/PA

Natalina Maria Tinôco Cabral<sup>1</sup>; Francisco de Assis Matos de Abreu<sup>2</sup>, Paula Stein<sup>3</sup>

## RESUMO

O estudo foi realizado no bairro de Umarizal em Belém/PA com o objetivo de observar o comportamento do nitrato, amônio e de outros parâmetros físico-químicos nas águas do aquífero Barreiras frente ao uso do saneamento *in situ* por domicílios residenciais. Foram selecionados dois poços localizados no aquífero Barreiras, um residencial tubular (Uma8) de 30 metros de profundidade e outro de monitoramento (M3) com 12m de profundidade. O poço M3 foi localizado na mesma residência do poço Uma8 a cerca de 1 metro do sumidouro da fossa residencial. Foram realizadas dez campanhas de amostragem em períodos sazonais distintos (setembro de 2001 a novembro de 2002). No poço Uma8, os teores de nitrato e amônio permaneceram sempre elevados, independentes do mês de coleta, e com pH sempre ácido. Sugerindo que o poço está localizado em uma área com altas e constantes recargas de efluentes domésticos. O poço M3 apresentou os maiores teores de nitrato (acima de 30 mg/L) nos dois primeiros meses de amostragem, acompanhados pelos teores mais baixos de amônio. No poço M3 existe uma tendência de oxidação do amônio para nitrato (nitrificação) nos primeiros meses de coleta. Fica constatada a pouca influência da sazonalidade na caracterização hidroquímica dos poços estudados.

Palavras-Chave: Aquífero Barreiras, saneamento *in situ*, contaminação, compostos nitrogenados.

## ABSTRACT

The present study was carried up in order to observe the behavior of nitrate, ammonium and physico-chemical parameters of water from the Barreiras aquifer in the Umarizal district, Belém city, Northern Brazil. One has also considered the influences of *in situ* residential sewage disposal on the Barreiras aquifer water. Two wells located in the Barreiras aquifer were selected. The first one (Uma8) is a residential 30-meter depth tubular well and the other (M3) is a twelve-meter depth monitoring well. The M3 well was located in the same residence that contained Uma8 well and about 1 meter from residential sewage tank. Ten sampling campaigns in distinct seasonal periods had been carried up between September 2001 and November 2002. In the Uma8 well, nitrate and

---

1 Autônoma. Endereço: Rua João das Estivas, 1797/1303. Natal/RN - Brasil. E-mail: natalinacabral@gmail.com

2 Universidade Federal do Pará. Departamento de Geologia. Endereço: Campus Universitário do Guamá. Belém/PA – Brasil. E-mail: famatos@ufpa.br

3 Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Departamento de Geologia. Endereço: Campus Universitário Lagoa Nova, s/n. Natal/RN - Brasil. E-mail: paula.stein@gmail.com

ammonium contents and also the acid pH levels had remained high through all periods of sample collection. Such situation suggests that the well is located in an area with high and constant recharges from domestic effluents. For the two first months of sampling, the M3 well presented the higher nitrate contents (above 30 mg/L) besides lower ammonium contents. M3 well shows a trend of ammonium oxidation to nitrate (nitrification) in the first months of sample collection. These samplings also evidenced that seasonality had weak influence on the water chemistry of the studied wells.

Key words – Barreiras aquifer; septic system; contamination; nitrogen compounds

## 1 – INTRODUÇÃO

O nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) é o contaminante de ocorrência mais freqüente nas águas subterrâneas. Trata-se de uma substância persistente, móvel, que não degrada facilmente em meio aeróbico e, em teores acima de 10 mg/L  $\text{NO}_3\text{-N}$ , pode causar doenças como a metahemoglobinemia (*baby blue syndrome*) e o câncer gástrico [1]. Dentre as principais fontes antrópicas deste contaminante destacam-se as práticas agrícolas, com uso de fertilizantes orgânicos/inorgânicos e o sistema de saneamento *in situ*, através de fossas sépticas ou rudimentares.

No Brasil aproximadamente 40% da população utiliza o sistema de saneamento *in situ* para depositar seus excretos ou não possuem qualquer sistema de saneamento que, na prática, se traduz na deposição inadequada dos efluentes líquidos, muitas vezes diretamente no aquífero (fossas negras escavadas até o nível freático). Esse tipo de prática inadequada dos efluentes domésticos é mais agravante em favelas, dada a grande concentração de fossas negras, bem próximas a poços ou cacimbas. Entretanto esse problema de inter-relação fossa x poço não se restringe somente às favelas, já que cerca de 20% da população do país se auto-abastece de água e somente 35% está conectada devidamente à rede de esgoto [2].

Na cidade de Belém, por exemplo, o nível de atendimento do serviço de coleta de esgoto sanitário pode se considerado precário e o tratamento dispensado a esse resíduo inexistente, a julgar pelos dados fornecidos pela Secretária Municipal de Coordenação Geral de Planejamento e Gestão da Prefeitura Municipal de Belém (SEGEP).

De acordo o censo do IBGE realizado em 1991 [3], de um total de 255.902 domicílios particulares do município, somente 5605 deles, correspondendo a 2,19% do total, são permanentemente atendidos por rede geral de esgoto. 57.594 domicílios são atendidos por fossas sépticas, tendo seus efluentes ligados á rede de esgoto pluvial e cerca de 79.524 domicílios dispõem de fossa séptica sem escoadouro (certamente seus efluentes são direcionados a sumidouros,

infiltrando-se no solo). Em termos percentuais esses números representam 22,51% e 31,10%, respectivamente, totalizando 53,61% das residências levantadas.

Associada a essa forma inadequada de deposição de efluentes de domésticos, grande parcela dos condomínios residenciais de Belém utilizam poços próprios para seu abastecimento. Estes são construídos, na maioria das vezes, sem levar em conta a caracterização hidrogeológica e a proximidade da fossa séptica ou de fossa rudimentar.

Devido a essa falta de planejamento para proteção dos recursos hídricos subterrâneos, as águas dos aquíferos rasos da região já mostram sinais impactantes, conforme exemplificado na Tabela 1. Nessa tabela consta que em vários bairros de Belém os teores de nitrato nas águas de alguns poços residências estão acima ou próximo do permitido pelo do Ministério da Saúde [4].

Tabela 1. Teores de nitrato em poços condomínios residenciais em alguns bairros da região de Belém [5].

| <b>BAIRROS DE BELÉM</b> | <b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> em N (ppm)</b> |
|-------------------------|--|
| MARAMBAIA               | 12,6   |
| MARCO                   | 11,9   |
| PEDREIRA                | 13,9   |
| CIDADE VELHA            | 0,8  |
| PRATINHA                | 6,8  |
| SÃO BRAZ                | 9,3  |
| SACRAMENTA              | 7,5  |
| NAZARÉ                  | 11,3   |
| REDUTO                  | 12,2   |

A ocorrência de contaminação de aquíferos por espécies nitrogenadas, provenientes de sistema sépticos e/ou de práticas inadequadas de saneamento, tem sido documentada por diversos trabalhos em vários países. Esses trabalhos, na sua maioria, quantificam e estudam o comportamento dessas espécies, correlacionando-as com outros constituintes químicos e com a densidade populacional ou, ainda, comparando os teores obtidos em áreas saneadas com os de áreas não saneadas [6], [7], [8], [9], [10], [11] e [12]. Poucos trabalhos, entretanto, analisam com detalhe a evolução geoquímica dos efluentes em sistemas sépticos, que ocorre tanto na zona não saturada quanto na zona saturada e, principalmente, as transformações da série nitrogenada, em especial as questões associadas à desnitrificação [13], [14] e [15].

No Brasil, existem vários estudos que abordam a contaminação de aquíferos por nitrato e amônio, provenientes de efluentes domésticos. Dentre esses trabalhos, podem ser citados [16], [17], [18], [19] e [20]. Existem ainda trabalhos que começam a detalhar, principalmente através de experimentos de campo, o comportamento geoquímico da série nitrogenada, a exemplo de [21] e [22].

Em Belém, diversos trabalhos sobre as águas do aquífero Barreiras já foram realizados, principalmente aqueles que estão relacionado com a avaliação de sua qualidade através de

parâmetros físico-químicos e bacteriológicos [23], [24], [5] e [25]. Entretanto, pesquisas específicas a respeito da contaminação das águas do aquífero Barreiras por compostos nitrogenados, provenientes do saneamento *in situ*, com programa de monitoramento, são ainda bastante restritas [26], [27] e [28].

Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo observar o comportamento do nitrato, amônio e de outros parâmetros físico-químicos nas águas do aquífero Barreiras, frente ao uso do saneamento *in situ* por domicílios residenciais a partir de uma amostragem densa e contínua.

## 2 - MATERIAIS E MÉTODOS

Para o presente estudo foram selecionados 2 poços no bairro do Umarizal/Belém/PA, sendo um residencial tubular (Uma8) de 30 metros de profundidade e outro de monitoramento (M3) com 12m de profundidade. O poço M3 foi locado na mesma residência do poço Uma8 e a cerca de 1 metro do sumidouro da fossa residencial. A construção do poço de monitoramento obedeceu as normas técnicas da Associação Brasileira [29].

Nesses poços foram realizadas 10 campanhas de amostragem em períodos sazonais distintos. Foram coletadas amostras de água durante o período de menor incidência de chuvas da região (setembro/01, outubro/02, novembro/01/02, junho/02, agosto/02), no início do período chuvoso (dezembro/01) e no período de máximas chuvas (janeiro/02, fevereiro/02, março/02 (período chuvoso)).

Os procedimentos de coleta e preservação das amostras de água seguiram os critérios da *American Public Health Association* [30]. As medidas de condutividade elétrica (CE) e pH foram determinadas *in situ* utilizando respectivamente o condutímetro portátil modelo 4200/Jenway e o pHmetro portátil CG837/Schott. As análises de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) foram realizadas no Laboratório de Taxologia do Instituto Evandro Chagas - Belém/Pará, utilizando um espectrofotômetro marca HACH – DR/ 2000. Para o  $\text{NH}_4^+$  utilizou-se o método Nessler/8038 e para o  $\text{NO}_3^-$  a redução de cádmio/8039. Os íons principais  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  foram analisados por espectrometria de absorção atômica no Laboratório de Hidroquímica da Universidade Federal do Pará.

Os resultados gerados nas diferentes análises foram organizados e representados em gráficos utilizando o recurso do Statistica StatSoft (2000).

O presente estudo foi realizado no bairro de Umarizal em Belém/PA em uma residência de classe média com seis moradores. O bairro do Umarizal tem uma densidade demográfica de 11.344 hab  $\text{Km}^{-2}$  e é caracterizado por apresentar uma cobertura da rede de esgoto público precária, já que

as fossas sépticas são comuns no bairro, correspondendo a 2.889 domicílios atendidos por esse sistema [31].

Os poços estudados foram locados no aquífero Barreiras, que, nessa região, se comporta como semilivre a semiconfinado e é constituído por areias de granulometrias finas a grossas e conglomerados [28]. O nível estático varia de menos de 4,0 metros no poço M3 e 11 metros no poço Uma8. Devido a essas características hidrogeológicas, o aquífero Barreiras na área apresenta alta vulnerabilidade à contaminação, especialmente aquelas oriundas de efluentes de fossas sépticas.

### 3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Figuras 1 e 2 apresentam os resultados para nitrato, amônio, pH, condutividade elétrica, cloreto e sulfato das amostras de água dos poços Uma8 e M3, enquanto a Tabela 1 os teores de cálcio, magnésio, sódio e potássio.

O poço Uma8 mostrou, para o nitrato, resultados relativamente altos e homogêneos, com variação entre 24 a 39 mgL<sup>-1</sup> e média de 32 mgL<sup>-1</sup>. Na maioria das coletas (7 meses), os teores de nitrato foram superiores a 30 mgL<sup>-1</sup> e em dois meses (março e junho-2002), esses valores ficaram em torno de 25 mgL<sup>-1</sup> (Figura 1). Para o amônio, os teores foram sempre superiores a 4 mg/L, com “piques” maiores em fevereiro, outubro e novembro de 2002, pois nesse período apresentaram valores acima de 6 mgL<sup>-1</sup>, com máximo de 7,74 mgL<sup>-1</sup> (Figura 1).

No poço Uma8, os valores de pH mantiveram, sempre, um comportamento homogêneo e relativamente ácido, com valores entre 3,3 e 4,2, sendo que os meses de janeiro e agosto de 2002 corresponderam aos de valores mais baixos de pH, acompanhado, todavia, dos maiores teores de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Figura 1). Para a condutividade elétrica, as três primeiras amostragens mostraram uma certa irregularidade com dois meses (novembro e dezembro de 2001), tendo valores mais elevados (>350 μS/cm), e um mês (setembro de 2001) com valor relativamente baixo (224 μS/cm). As últimas sete coletas apresentaram, entretanto, uma grande homogeneidade com os resultados variando de 272 μS/cm a 304 μS/cm (Figura 1). Para o cloreto, o poço Uma8 mostrou, inicialmente, de setembro/2001 a março/2002, valores homogêneos, variando de 50 a 56 mgL<sup>-1</sup>. Entretanto, nos últimos meses, de junho a novembro de 2002, observou-se uma pequena queda, com teores entre 37 a 45 mgL<sup>-1</sup> (Figura 1). Para o sulfato, os resultados foram sempre baixos, próximos ao limite de detecção (Figura 1). Para os íons maiores (Tabela 2), cujos resultados foram obtidos nos meses chuvosos (dezembro, fevereiro e março), notou-se que, entre eles, o sódio apresentou maiores teores, com variação de 29,6 mgL<sup>-1</sup> a 34 mgL<sup>-1</sup>, enquanto que para o cálcio, os teores foram baixos, ficando nos dois primeiros meses (dezembro/01 e fevereiro/02) abaixo do limite de detecção,

atingindo, entretanto,  $5 \text{ mgL}^{-1}$  em março de 2002. Para o magnésio e potássio, os teores mais elevados ocorreram no mês de março, correspondendo respectivamente a  $2 \text{ mgL}^{-1}$  e  $8 \text{ mgL}^{-1}$ .

O poço M3 apresentou, para o nitrato, valores acima de  $30 \text{ mgL}^{-1}$  para as duas primeiras coletas (setembro e novembro de 2001) e, em geral, abaixo de  $10 \text{ mgL}^{-1}$  para os períodos restantes (Figura 2). Para amônio, observaram-se teores relativamente mais baixos nas sete primeiras amostragens (setembro de 2001 a junho de 2002), variando de  $1,4$  a  $4,2 \text{ mgL}^{-1}$  e teores mais elevados ( $5,3$  a  $7,00 \text{ mgL}^{-1}$ ) nos três últimos meses de coletas (agosto/02, outubro/02 e novembro/02) (Figura 2). Para o pH, as sete primeiras coletas mostraram valores relativamente mais altos e heterogêneos de pH ( $5,5$  a  $7,10$ ) se comparadas aos últimos três períodos ( $4,4$  a  $4,5$ ) (Figura 2). Para a condutividade elétrica, observou-se dois meses (novembro e dezembro de 2001) com valores acima de  $400 \mu\text{S/cm}$ , ao passo que as 8 amostragens restantes tiveram valores entre  $280\mu\text{S}$  a  $380\mu\text{S/cm}$  (Figura 2). Os resultados de cloreto variaram de um mínimo de  $26,60 \text{ mgL}^{-1}$  (em novembro de 2002) a um máximo de  $50,70$  (em novembro de 2001) (Figura 2). Os resultados para o sulfato, correspondendo às seis primeiras amostragens, foram sempre relativamente altos, variando de  $42$  a  $88 \text{ mgL}^{-1}$ , com média de  $64 \text{ mgL}^{-1}$  (Figura 2). Em relação aos íons principais (Tabela 2), os teores de sódio permaneceram inalterados nos meses de dezembro/01 e fevereiro/02, e atingindo, em março, um máximo de  $37 \text{ mgL}^{-1}$ . O cálcio variou de um máximo de  $29 \text{ mgL}^{-1}$ , no mês de dezembro, a  $18,6 \text{ mgL}^{-1}$  e  $21 \text{ mgL}^{-1}$ , nos meses de fevereiro e março de 2002, respectivamente. Finalmente, o magnésio e o potássio não apresentaram grandes variações nos seus teores nos meses amostrados.

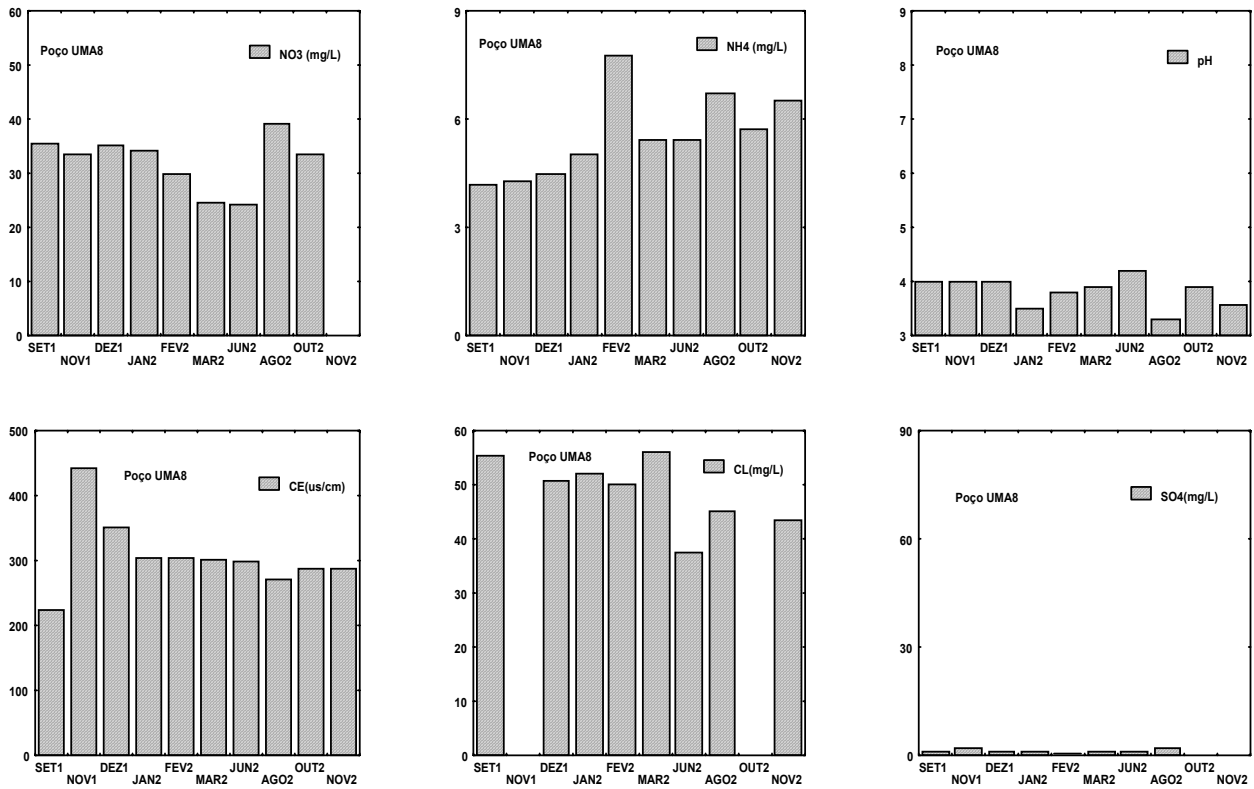


Figura 1. Variações dos teores de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^-$ ) e dos valores de pH e condutividade elétrica (CE) no poço UMA8.

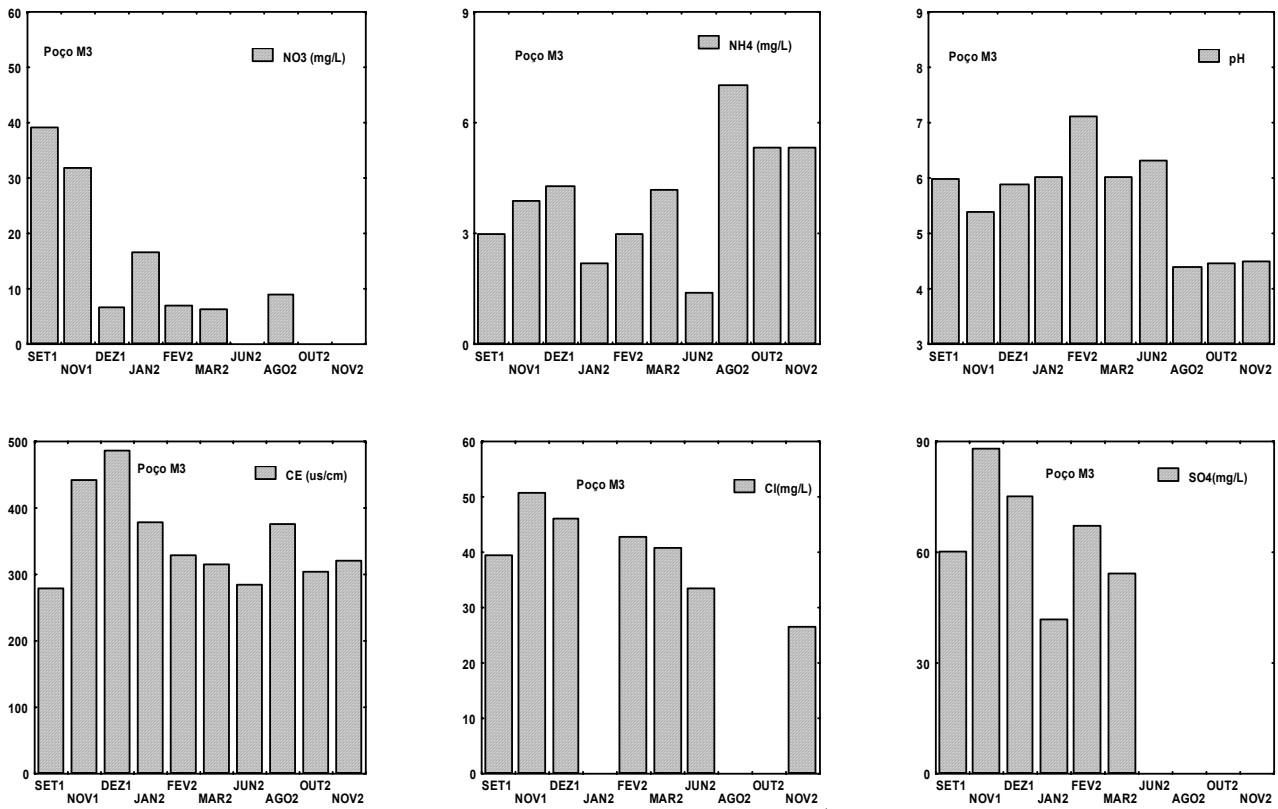


Figura 2. Variações dos teores de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^-$ ) e dos valores de pH e condutividade elétrica (CE) no poço de monitoramento M3.

Tabela 2. Resultados das análises químicas para os íons principais (cálcio, magnésio, sódio e potássio) das amostras de águas coletadas nos poços Uma8 e M3, no bairro de Umarizal.

| Íons Principais<br>mg/L | Dezembro/01 |      | Fevereiro/02 |      | Março/02 |      |
|-------------------------|-------------|------|--------------|------|----------|------|
|                         | Uma8        | M3   | Uma8         | M3   | Uma8     | M3   |
| Cálcio                  | Ald         | 29   | Ald          | 18,6 | 5,0      | 21,0 |
| Magnésio                | 0,5         | 3,6  | 1,1          | 2,7  | 2,0      | 2,0  |
| Sódio                   | 32,4        | 23,7 | 29,6         | 23,7 | 34,0     | 37,0 |
| Potássio                | 3,2         | 7,8  | 5,9          | 7,4  | 8,0      | 11   |

Ald = abaixo do limite detecção do método

Desse modo, a partir dos resultados apresentados, fez-se uma comparação entre os poços. Nota-se que para o poço Uma8, os teores de nitrato e amônio mantiveram-se sempre elevados independente do mês de coleta, acompanhado também com o pH sempre ácido. Tal situação sugere que o poço está localizado em uma área com altas e constantes recargas de efluentes domésticos, associado a um nível estático raso (cerca de 5m). É sugestivo propor, também, que o processo de oxidação do amônio para nitrato (nitrificação, equações 1 e 2) no poço Uma8, não é completo e ocorre de maneira rápida e contínua, pois à medida que o amônio é transformado para nitrato, nova carga de amônio chega nessas águas, ocasionando, assim, nitrato e amônio altos. Por outro lado, esse comportamento não é observado no poço M3, cujos maiores teores de nitrato estão acompanhados com uma diminuição das concentrações de amônio. Percebe-se, portanto, que no poço M3 existe uma tendência da oxidação do amônio para nitrato (nitrificação) nos primeiros meses de coletas, o que, entretanto, não está evidente nos outros meses.



Quanto ao pH, o poço M3 manteve-se menos ácido do que no poço Uma8, principalmente, entre os meses de setembro/01 a junho/02, fato esse que pode está relacionado à localização do poço M3 nas proximidades do sumidouro de fossa séptica. Nas proximidades desses locais, o pH tem tendência à elevação [32], [33] e [2]. Essa situação ocorre devido à matéria orgânica existente nos efluentes das fossas sofrer decomposição produzindo amoníaco ou amônio, mediante a participação de bactérias. Esse processo de conversão do nitrogênio orgânico originado da matéria orgânica (aqui representado pela uréia, presente na urina humana) para  $\text{NH}_4^+$  ou  $\text{NH}_3^+$  é chamado de amonificação, segundo a reação (1) [13]. No produto formado ocorre hidratação liberando  $\text{OH}^-$  (equação 4) responsável, portanto, pela elevação do pH do meio. Além da formação do amônio/amônia, outras substâncias de caráter básico presentes nos efluentes domésticos, a exemplo dos detergentes, também devem contribuir para o aumento do pH nas proximidades das fossas [27].





Comparando-se, finalmente, os teores de sulfato nos dois poços, observa-se que o poço Uma8 permaneceu com os teores muito baixos durante os períodos amostrados, enquanto que o M3 apresentou concentrações acima de 42mg/L. Isso sugere, mais uma vez, a influência da localização do poço M3 na composição química de sua água. Salienta-se, ainda, que as variações do nível de água do poço M3 não mostram dependência efetiva com as concentrações dos componentes químicos medidos ao longo do tempo.

#### 4 – CONCLUSÕES

Em dois poços (Uma8 e M3) foi efetuada uma representativa amostragem entre setembro de 2001 a novembro de 2002. Essa amostragem teve como um dos propósitos, estudar a influência da sazonalidade, especialmente para nitrato e amônio. No poço Uma8, os teores de nitrato e amônio permaneceram sempre elevados, independentes do mês de coleta. Tal situação sugere que o poço está localizado em uma área com altas e constantes recargas de efluentes domésticos. O poço M3 apresentou os maiores teores de nitrato (acima de 30 mg/L) nos dois primeiros meses de amostragem e eles estão acompanhados por teores mais baixos de amônio. Percebe-se, portanto, que no poço M3 existe uma tendência de oxidação do amônio para nitrato (nitrificação) nos primeiros meses de coleta. Essas amostragens constataram, também, a pouca influência da sazonalidade na caracterização hidroquímica dos poços estudados.

#### 5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] USEPA. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1995. Drinking water regulations and health advisories. Offices of water. Disponível em: < URL <http://www.epa.gov>. > Acesso em: jun. 2001.
- [2] VARNIER, C. & HIRATA, R. Contaminação das águas subterrâneas por nitrato no parque ecológico do Tietê – SP. In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1, 2000, Fortaleza. *Anais*. Fortaleza: ABAS, 2000. CD ROOM.
- [3] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTÁTICA. 1991. *Censo demográfico do Pará*.

- [4] BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518 de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. 2004.
- [5] VILHENA, L.; VALE, S. B. ; MENEZES, L. B.C.; BRAZ, V.N. Estudo Preliminar da Ocorrência de Nitrato e Ferro na Água Subterrânea de Belém. In: ENCONTRO DE PROFISSIONAIS DE QUÍMICA DA AMAZÔNIA, 7, 1991, Belém. *Anais...*Belém: CRQ, 1991. p.185-193.
- [6] ROBERTSON,F.N. Evaluation of nitrate in the ground water in the Delaware coastal plain. *Ground Water*, v.4, p.328-337, 1979.
- [7] ROBERTSON, W.D.; CHERY, J.A; SUDUDICKY, E.A. Ground – Water contamination from two small septic sytems on sand aquifer. *Ground Water*, v.29, n.1, p. 82-92. 1991.
- [8] HANTZSCHE, N. N. & FINNEMORE, E. J. Predcting Ground-Water Nitrate-Nitrogen Impacts. *Ground Water*, v. 30, n. 4, p. 490-499. 1992.
- [9] SOMASUNDARAN,M.V.; RAVINDRAM,G.; TELLAM,J.H. Groundwater pollution of the Madras urban aquifer, India. *Groundwater*, v. 3, p.4-11, 1993.
- [10] CHETTRI, M. & SMITH,G.D. 1995. Nitrate pollution in groundwater in selected districts of Nepal. *Hydrogeology Journal*, v.3, n.1.
- [11] APPELEYERD, S.J.Impact of liquid waste disposal on potable groundwater resources near Perth, western Australia. *Environmental Geology*, v.28, n. 2, p.106-110, 1996.
- [12] PACHECO, A.J. & CABRERA,A. Groundwater contamination by nitrates in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Hydrogeology Journal*, v.5, n. 2, p. 47- 53, 1997.
- [13] WILHELM, S. R.; SCHIFF, S.L.; CHERRY, J.A. Biogeochemical evolution of domestic waste water in septic systems:1 Conceptual Model. *Ground Water*, v. 32, n.6, p. 906- 916, 1994.
- [14] WILHELM, S. R.; SCHIFF, S.L; ROBERTSON, W.D. Biogeochemical evolution of domestic waste water in septic systems: 2. Application of Conceptual Model .in Sandy Aquifers. *Ground Water*, v.34, n.5, p.853– 864, 1996.
- [15] DESIMONE, L.A & HOWES, B.L. Nitrogen transport and transformations in a shallow aquifer receiving wastewater discharge: a mass balance approach. *Water Resour. Res.*,v. 34, p. 271 – 285, 1998.
- [16] SZIKSZAY, M.; KIMMELMANN, A .A.; HYPOLITO, R.; FIGUEIRA, R. M.; SAMESHIMA R. H. Evolution of the chemical composition of water passing through the unsaturated zone to ground water at na experimental site at the University of São Paulo, Brazil. *Journal of Hydrology*, v. 118, p. 175-190, 1990.

- [17] BARCHA, M.P. Nitratos em águas subterrâneas no meio urbano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37,1992, São Paulo. *Anais...* São Paulo: SBG, 1992. v.2, p. 200-201.
- [18] MELO, J. G. *Impactos do desenvolvimento Urbano nas águas Subterrâneas de Natal/RN*. São Paulo. Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências. 1995.p.195 .(Tese de Doutorado).
- [19] MELO, J.G.; REBOUÇAS,A.C.; QUEIROZ, M.A..Contaminação de águas subterrâneas por nitrato na zona sul de Natal, RN. *Revista Águas Subterrâneas* v. 15, p. 71-81, 1996.
- [20] MELO, J.G.; QUEIROZ, M.A.; HUNZIKER, J., Mecanismos e fontes de contaminação das águas subterrâneas de Natal/RN por nitrato. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 10, São Paulo. *Anais...*São Paulo. 1998. CD-ROOM.
- [21] MONTEIRO, M.P. *Estudos de percolação e dispersão de efluentes de fossas sépticas no solo*. Brasília. Universidade de Brasília, 1997.p.154. (Dissertação de Mestrado).
- [22] VARNIER, C. *O efeito do nitrogênio provenientes de sistemas de saneamento “in situ “na qualidade das águas subterrâneas em aquíferos livres e rasos*. São Paulo, Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências. 2001. 88P (Dissertação de Mestrado).
- [23] BRAZ, V. M. *Estudo da qualidade da água de abastecimento da zona urbana de Belém*. Belém. Centro de Geociências - Universidade Federal do Pará. 1985. 167p. (Dissertação de Mestrado).
- [24] MENEZES, L. B. C. *Estudo da águas destinadas ao consumo da população das baixadas da cidade de Belém- PA (bairro da Sacramento). Avaliação da qualidade sob os aspectos físico-químicos, bioquímicos e bacteriológicos*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro Geociências. 1985.145p. (Dissertação Mestrado).
- [25] SAUMA FILHO, M. *As águas subterrâneas de Belém e adjacências: Influência da Formação Pirabas e parâmetros físico-químicos para medidas de qualidade*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 1996. 128p. (Dissertação Mestrado).
- [26] LIMA, L. M. *Estudo do comportamento subsuperficial dos compostos nitrogenados em bairros densamente povoados de Belém*. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Departamento de Geologia. 2000.60p. (Trabalho de Conclusão de Curso - TCC).
- [27] GASPAR, M.T.P. *Avaliação dos impactos da ocupação urbana sobre as águas da bacia Hidrográfica do igarapé Mata Fome, Belém – Pa*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 2001.112p. (Dissertação de Mestrado)
- [28] CABRAL, N.M.T. *Impacto da urbanização na qualidade das águas subterrâneas nos bairros do Reduto, Nazaré e Umarizal-Belém/PA*. Belém: Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 2004. 278p (Tese de doutorado).

- [29] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Construção de poços de monitoramento* – PN 1:603.06. procedimento. 25p. 1994.
- [30] AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19 ed. Washington DC, American Water Works Association and Water environment Federation. 1995.1268 p.
- [31] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTÁTICA. 2000. *Censo demográfico do Pará*.
- [32] PTACEK, C. J. Geochemistry of a septic-system plume in a coastal barrier bar, Point Pelee, Ontario, Canada. *Journal of Contaminant Hydrology*, v.33, p. 293-312. 1988.
- [33] ROBERTSON, W.D.; & BLOWES, D.W. Major ion and trace metal geochemistry of na acidic septic – system plume in silt. *Ground Water* , v. 33, n.2, p.275-283, 1995.