

COMPORTAMENTO DOS INDICADORES DE CONTAMINAÇÃO POR EFLUENTES DOMÉSTICOS NAS ÁGUAS DO AQUÍFERO BARREIRAS NOS BAIROS DO REDUTO, NAZARÉ E UMARIZAL - BELÉM/PA.

Natalina Maria Tinôco Cabral¹

Resumo - O comportamento do nitrato, amônio e de outros parâmetros químicos, comumente utilizados como indicadores da contaminação por efluente doméstico, foi monitorado durante dois anos e meio nas águas do aquífero Barreiras. Os resultados para o pH, condutividade elétrica, sódio, cálcio e cloreto indicaram que os poços, quando analisados individualmente, mostram um comportamento relativamente homogêneo, mas, quando comparados entre si, foi possível distinguir poços com valores sempre mais elevados daqueles com os valores menos elevados. Para nitrato e amônio, o conjunto dos poços permitiu a classificação de 4 padrões de comportamentos. Os padrões definidos podem significar maior ou menor distância de fontes ativas de contaminação, que seriam os fatores determinantes na caracterização hidrogeoquímica dos poços numa área urbana. Nas proximidades das fossas (padrão 3), o ambiente redutor é mantido pela degradação da matéria orgânica, proveniente dos tanques sépticos ou de fossas. À medida que se afasta da fonte, em posição intermediária, compostos mais oxidados como amônio e nitrato aparecem em teores significativos, devido ao contato do contaminante com águas mais ricas em oxigênio (padrão 2). Quando existe o predomínio de nitrato (padrões 1 e 4) em relação ao amônio, acredita-se que os poços estão mais afastados da fonte de contaminação.

Abstract - The behavior of the nitrate and ammonium, besides other commonly used chemistry parameters as indicators of the contamination by domestic effluent, were monitored during 2.5 years in the waters of the Barreiras Aquiferous. The obtained results for pH, electric conductivity, sodium, calcium and chloride have indicated that the wells, when individually analyzed, show a relatively homogeneous behavior. However, when compared to each other, it was possible to distinguish wells with values always more elevated against those with less high values. Wells analyzed for nitrate and ammonium, allowed a classification into four behavior patterns. The established patterns express a larger or smaller distance with respect to the contamination active sources, which are decisive factors for the well's hydrogeochemistry characterization in an urban area.

¹ Geóloga do SBG/CPRM/BE: Av. Dr. Freitas, 3615,marco; 0xx91-2768577- natalina@amazon.com.br

Near to the septic tank (pattern 3), the reducer ambient is maintained thanks to the degradation of the organic matter. In an intermediary distance with respect to the source, more oxidized compounds (ammonium/ nitrate) appear with significant content, due to the contact of the contaminant with waters richer in oxygen (pattern 2). When the nitrate predominates (pattern 1 and 4) with respect to the ammonium, it is believed that the wells are more distant of the contamination source.

Palavras-Chave - Aquífero Barreiras; Efluente doméstico.

INTRODUÇÃO

Nas grandes cidades, a principal preocupação quanto à contaminação das águas subterrâneas está nas áreas urbanizadas sem rede de esgotos, onde o lançamento de águas servidas e excretas se dá pela infiltração, através de fossas e tanques sépticos (Hirata, 1994 [1]).

As fossas sépticas são reservatórios construídos ou pré-fabricados, geralmente feitos de concreto, que são projetados para receber águas residuárias, principalmente de residências. Tais sistemas sépticos podem ser considerados como sistemas geoquímicos, onde os constituintes dos efluentes reagem entre si, com o meio poroso e com gases presentes nesse ambiente (Wilhelm et al., 1994 [2]).

A seção esquemática de um sistema séptico está ilustrada na Figura 1. O tanque séptico, primeira zona redox, recebe tanto os dejetos alimentícios (proteínas, carboidratos e gorduras) quanto os dejetos humanos (com alta concentração de uréia). Trata-se de uma zona anaeróbica, na qual a concentração de oxigênio dissolvido é muito baixa, enquanto o teor de matéria orgânica é muito elevado. É, portanto, no tanque que se desencadeia uma série de reações, sendo que, dentre essas, a hidrólise da proteína e uréia é a que permite a liberação do amônio (Wilhelm et al., 1994 [2]). O amônio liberado pode ser adsorvido pelo solo e usado pelas plantas como nutriente, como também pode ser oxidado biologicamente por bactérias para formar nitrito e, posteriormente, nitrato (processo de nitrificação) e penetrar livremente no subsolo.

O efluente, proveniente do tanque séptico e disposto no campo de drenagem, flui para a zona não saturada (aeróbica), que constitui a segunda zona redox. Nesta zona, o efluente sofre uma evolução geoquímica durante o processo de percolação no meio poroso. Tal evolução é controlada, principalmente, por reações de oxi-redução, e, entre essas transformações, o nitrogênio, sob a forma de nitrato, pode ser o de maior potencial para contaminação das águas subterrâneas (Wilhelm et al., 1994 [2]).

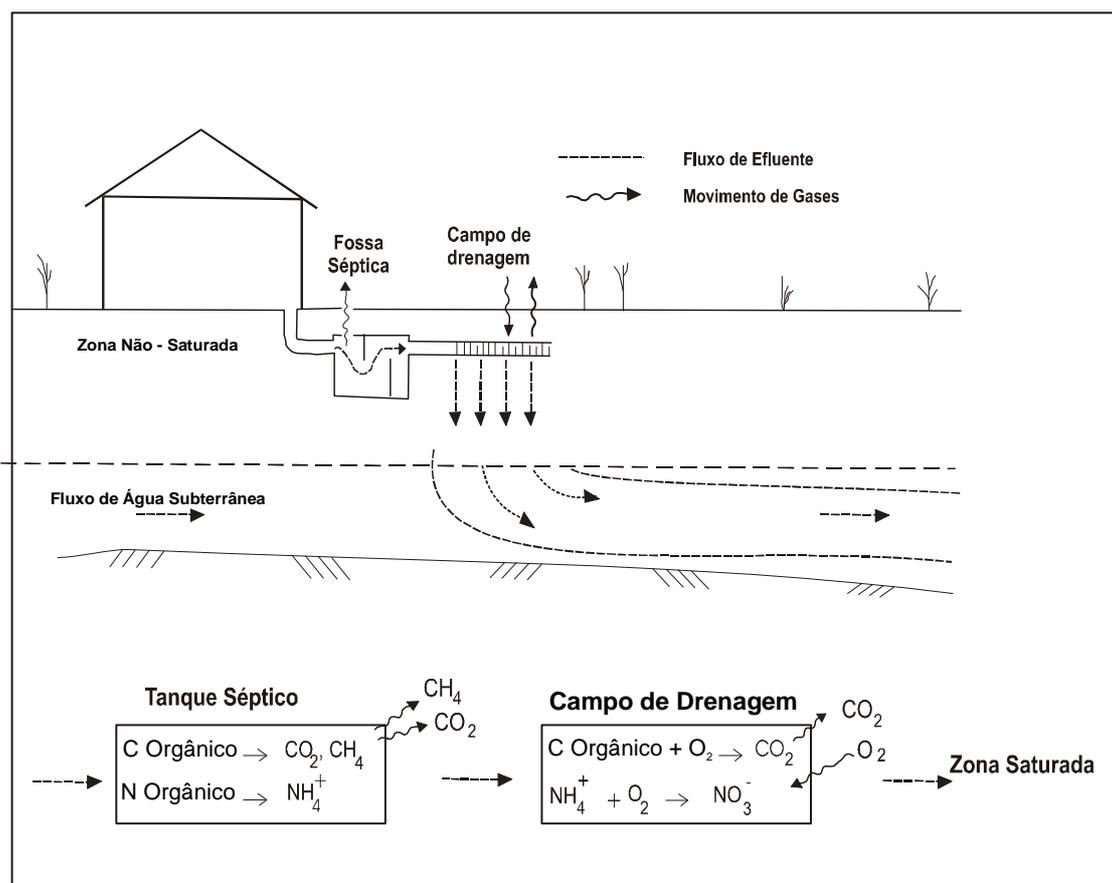


Figura 1 - Seção transversal esquemática de um sistema séptico incluindo uma fossa séptica, um campo de disposição, movimento dos contaminantes através das zonas não-saturada e saturada e reações de redox (Wilhelm et al., 1994 [2]– modificado).

O nitrato (NO_3) é persistente, com grande mobilidade e não degrada facilmente em meio aeróbico. Em teores acima 10mg/L N-NO_3 (aproximadamente 45 mg/L NO_3), pode causar doenças como metahemoglobinemia (baby blue syndrome) e câncer gástrico (USEPA, 1995 [3]). Pesquisas, ainda não conclusivas, tentam comprovar que concentrações elevadas de metahemoglobina no sangue de gestantes, ocasionadas pela ingestão de altas concentrações de nitrato em águas, podem induzir ao aborto espontâneo e má formação do feto (Aschengrau et al., 1989 [4]). O outro contaminante, também importante no sistema séptico, é o amônio, visto que em altas concentrações já é um indicativo de que pode ocorrer uma oxidação para nitrato, aumentando assim os teores dessa substância no meio.

Assim, o presente trabalho procurou avaliar a qualidade das águas de alguns poços rasos ($< 40\text{m}$), construídos em aquíferos semilivres na porção central de Belém/PA, frente ao uso do sistema séptico. Com tal objetivo, estudou-se o comportamento do nitrato (NO_3^-), amônio (NH_4^+) e de outros parâmetros que são comumente utilizados como indicadores da contaminação por efluente doméstico. Para isso, foi feito um acompanhamento durante um período de dois anos e meio em águas dos poços cadastrados, considerando os parâmetros como o nitrato (NO_3^-), amônio (NH_4^+),

pH, condutividade elétrica (CE), cloreto (Cl^-), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^+) e potássio (K^+). Ressalta-se que inicialmente esse estudo englobou três bairros de Belém, mas posteriormente a pesquisa deve se estender a outros bairros de Belém.

LOCALIZAÇÃO E CONSIDERAÇÕES DA ÁREA DE ESTUDO

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 homônimas (Seicom/Pará, 1995 [5] e PEHRMB, 2001 [6]). Esses sistemas vêm sendo explorados para abastecimento público, industrial e particular, com poços escavados ou tubulares. No presente estudo o enfoque será dado ao aquífero Barreiras por ser o mais explorado por condomínios residenciais.

Para o desenvolvimento do trabalho, foram selecionados três bairros centrais da cidade de Belém/Pa: Reduto, Nazaré e Umarizal, totalizando cerca de 15 Km^2 (Figura 2). Esses 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.

É importante destacar que a população 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 fossas sépticas são mais comuns no bairro de Umarizal, com 2.880 domicílios atendidos por esse sistema (Censo, 2000 [7]).

Para o estudo foram cadastrados poços residenciais que, no geral, estão em funcionamento há mais de 15 anos e apresentam uma profundidade de até 40 metros. Na área, o aquífero Barreiras se comporta como semilivre a semiconfinado e é constituído por areia/arenitos de granulometria fina a grossa e conglomerados. O nível estático varia de menos de 1,0 metro, nos poços localizados nas áreas de cotas topográficas mais baixas, até 11 metros nos poços posicionados nas partes mais elevadas. As principais linhas de fluxo estão preferencialmente orientadas para o centro da área, o

que coincide com o bairro de Reduto e parte do bairro de Nazaré, conforme determinado por (CABRAL,2004 [8]).

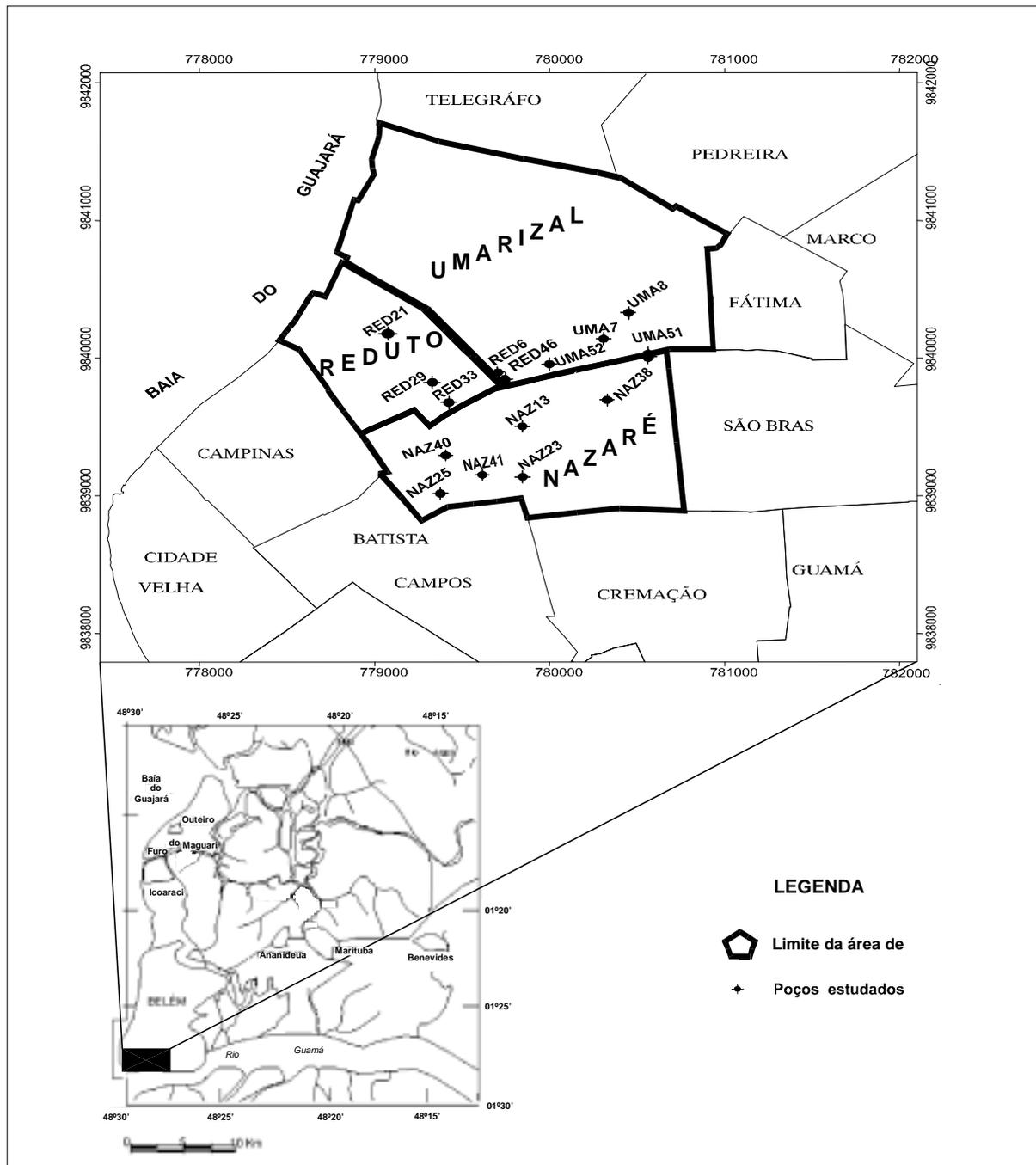


Figura 2 – Localização da área de estudo e dos poços estudados.

METODOLOGIA DE TRABALHO

Inicialmente foi elaborado um cadastro de poços tubulares 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 Desenvolvimento da Área Metropolitana de Belém (CODEM, 1999 [9]), na escala 1:5. 000. Na identificação dos poços foram

utilizadas as três primeiras letras do bairro seguidas do número de ordem do poço. No presente estudo foram utilizados 15 poços do universo de 69 poços cadastrados.

Nos poços cadastrados foram realizadas 9 campanhas de amostragem obedecendo à distribuição pluviométrica da região (Figura 3). Dessa forma, foram efetuadas coletas de água no mês de junho/2000/2001/2002, que corresponde ao final do período chuvoso, as que ocorreram em setembro/2000/2001 e dezembro/2000/2001, coincidem, respectivamente com o período de estiagem e com o início do período chuvoso. As duas últimas amostragens foram realizadas nos meses de fevereiro/2002 e março/2002, que representam o período chuvoso. A amostragem em dois meses seguidos teve por finalidade detectar e comparar variações dos teores químicos, uma vez que, nos citados meses, ocorrem as maiores precipitações pluviométricas na região. Nesse período, a profundidade do nível d'água do aquífero livre/ou semilivre torna-se mais raso e, portanto, mais próxima das fontes de contaminação (fossas sépticas e/ou vazamentos da rede de esgoto).

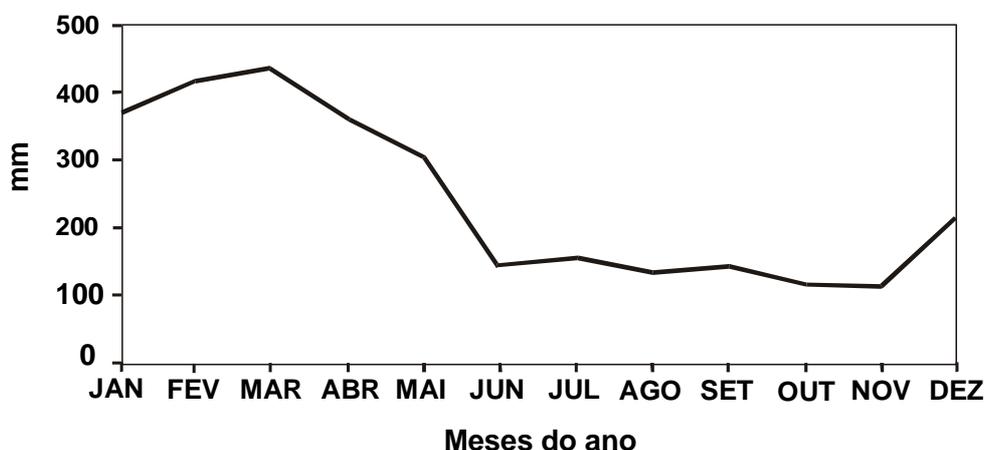


Figura 3 – Médias pluviométricas mensais para região de Belém no período de 1961 a 1990, conforme os dados do (INMET, 2000 [10]). As campanhas de amostragem foram realizadas nos meses de junho, setembro, dezembro, fevereiro e março, obedecendo à distribuição pluviométrica da região.

Os procedimentos de coleta e preservação das amostras de água seguiram os critérios do (APHA, 1995 [11]). Assim, as medidas de condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD) e pH foram determinadas *in situ* utilizando, respectivamente, o condutivímetro portátil modelo 4200/Jenway e o pHmetro portátil CG837/Schott.

Para os componentes do ciclo do nitrogênio (NH_4^+ , e NO_3^-) e Cl^- as análises foram efetuadas pelo espectrofotômetro marca HACH – DR/ 2000. Assim sendo, para o NH_4^+ utilizou-se o método Nessler/8038, para o NO_3^- a redução de cádmio/8039 e para o Cl^- o método utilizado foi o mercúrico tiocianato/8113. Já os íons principais (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) foram analisados por espectrometria de absorção atômica.

Os resultados obtidos nas diferentes análises foram organizados e representados em histogramas. Para elaboração dos mesmos, utilizou-se o recurso do software Estatística for windows.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Figuras 4 e 5 apresentam o comportamento do pH em cada poço por período amostrado. Em linhas gerais, ao longo dos períodos de amostragem, verifica-se um comportamento relativamente homogêneo nos poços, traduzido por poucas variações nos índices do pH. Nos poços (Red6, Red28, Uma7, Uma8), entretanto, nota-se que durante o período chuvoso, representado pelos meses de fevereiro e março, os valores de pH são discretamente mais baixos. Contudo, quando se faz uma comparação temporal, considerando o mesmo período amostrado, percebe-se que o final do período chuvoso (junho) foi o que apresentou a maior variação dos valores de pH. Por outro lado, os poços analisados individualmente mostram uma certa homogeneização em seus valores de pH, com discordância isolada, correspondendo a aumentos ou quedas mais significativas em relação à tendência geral.

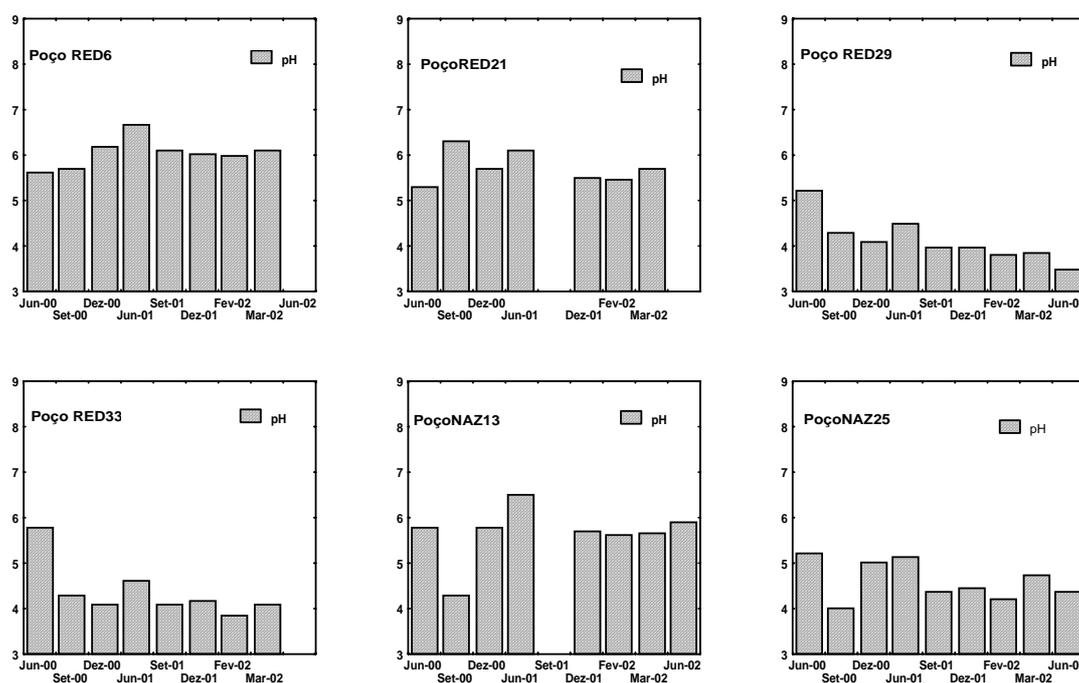


Figura 4 – Histogramas mostrando os valores de pH ao longo dos meses de amostragens para os poços Red6, Red21, Red29, Red33, Naz13 e Naz25.

Diferenças marcantes são observadas quando se faz uma comparação entre os poços, independente do período amostrado. Pode-se, assim, separar poços com valores constantemente mais altos, tendendo à neutralidade, de outros com resultados de pH relativamente baixos e,

portanto, com características mais ácidas. Os poços Red6, Red21, Naz13, Naz40, Naz41 e Uma52 mostram valores de pH normalmente acima de 5, com alguns picos superiores a 6, ao passo que os poços Red29, Red33, Uma7 e Uma8 apresentam, na maioria das amostragens, resultados de pH próximos a 4. Os demais poços (Naz25 e Uma51) evidenciam um comportamento intermediário entre os dois tipos anteriores (Figuras 4 e 5).

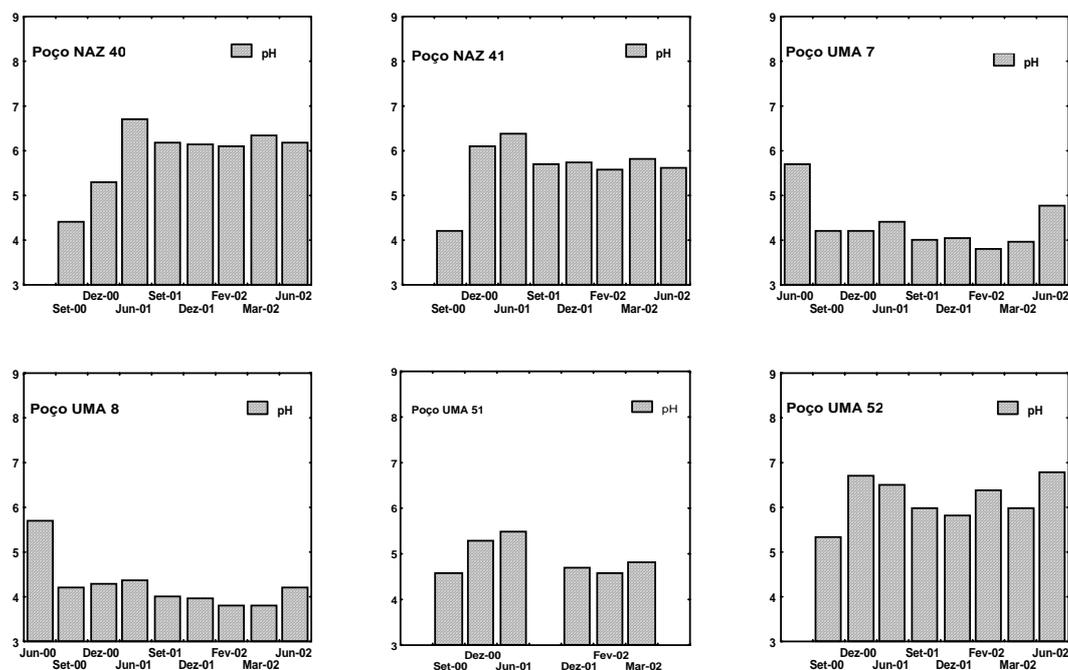


Figura 5 – Histogramas mostrando os valores de pH ao longo dos meses de amostragens para os poços Naz40, Naz41, Uma7, Uma8, Uma51 e Uma52.

A análise para a condutividade elétrica assemelha-se ao constatado para o pH (Figuras 6 e 7). Os poços, analisados individualmente, mostram um comportamento relativamente homogêneo ao longo dos períodos, mas quando comparados entre si, é possível distinguir poços com valores sempre mais elevados daqueles com os valores menos elevados. Os poços Uma7, Uma8, Uma52, Naz13, Naz40, Naz41 e Red6 apresentam, na maioria das amostragens, valores próximos ou acima de $300\mu\text{S}/\text{cm}$, enquanto que os poços Red29, Red33, Uma51 e Naz25 possuem, em geral, valores de CE na faixa de $300\mu\text{S}$ a $200\mu\text{S}/\text{cm}$. O poço Red21 apresenta um comportamento mais heterogêneo. Salienta-se que os teores obtidos nesses poços são invariavelmente altos, coincidindo com as observações feitas por (Cabral, 2004 [8]) no estudo do comportamento sazonal das variáveis que indicaram que as águas estudadas estão enriquecidas, independentes do período de amostragem.

No estudo para cloreto (Figuras 8 e 9), observa-se uma maior irregularidade no comportamento individual dos poços, quando comparados aos dados de pH e condutividade elétrica. Pode-se, entretanto, ainda separar grupos com distintos comportamentos. Os poços Uma7 e Uma8 apresentam,

em geral, teores de cloreto sempre acima de 30 mg/L. Em contrapartida, os poços Red29, Red33, Naz40 e Naz41 possuem, em geral, teores de cloreto próximos ou abaixo de 20 mg/L. Os outros poços mostram um comportamento mais irregular com os teores intermediários aos dois tipos anteriores.

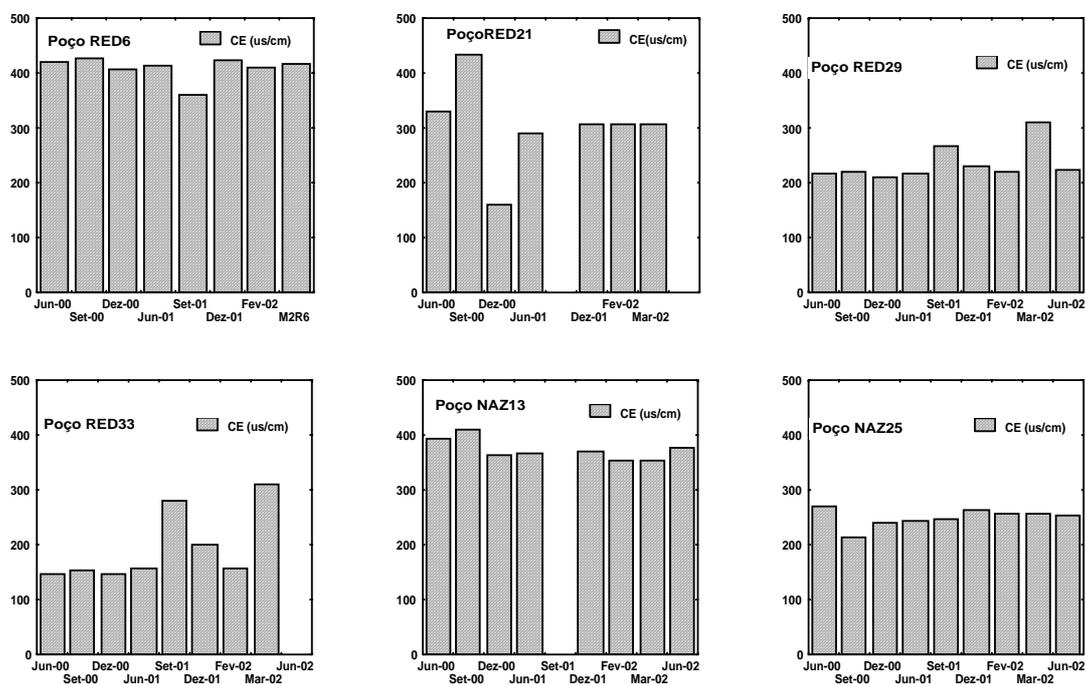


Figura 6 - Histogramas mostrando os valores de condutividade elétrica (CE) ao longo dos meses de amostragem para os poços Red6, Red21, Red29, Red33, Naz13 e Naz25.

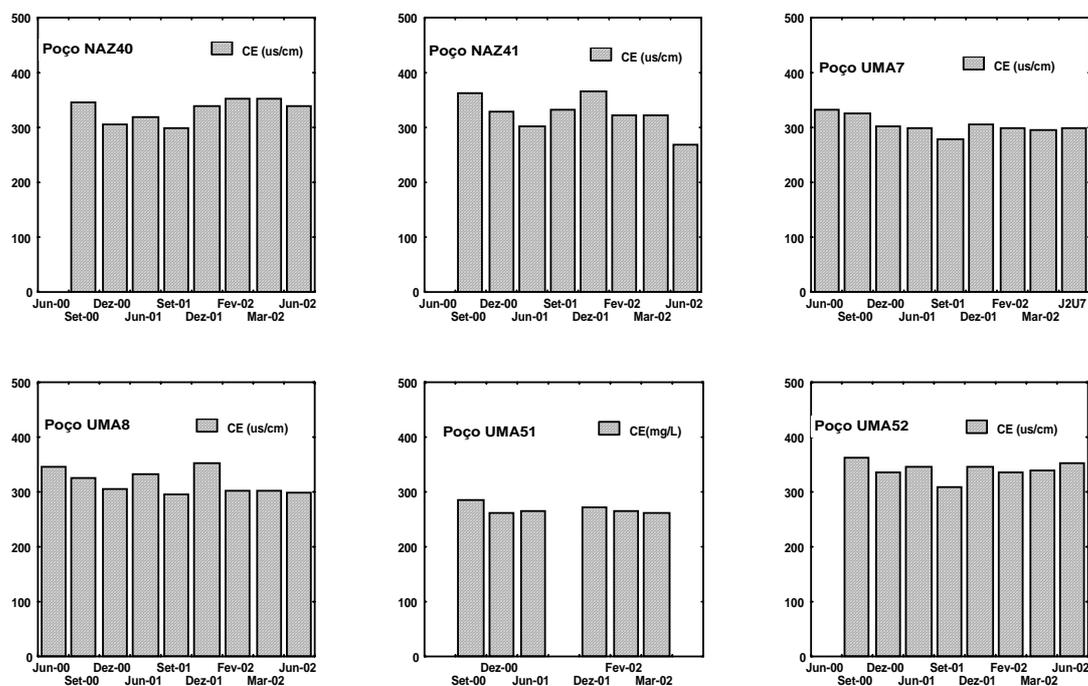


Figura 7 – Histogramas mostrando os valores de condutividade elétrica (CE) ao longo dos meses de amostragem para os poços Naz40, Naz41, Uma7, Uma8, Uma51 e Uma52

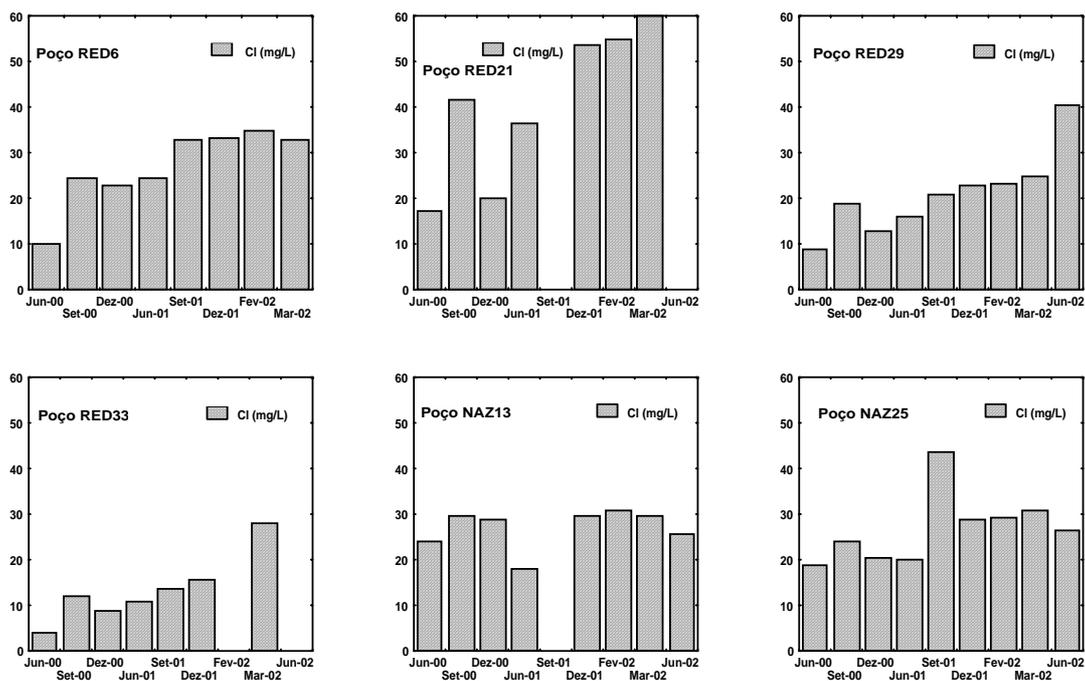


Figura 8 – Histogramas mostrando os teores de cloreto (Cl) ao longo dos meses de amostragem para os poços Red6, Red21, Red29, Red33, Naz13 e Naz25.

A análise dos poços indica, ainda, uma tendência aos teores mais baixos de cloreto ocorrerem no final do período chuvoso, especialmente no mês de junho de 2000, enquanto os teores mais elevados são encontrados durante o período chuvoso (fevereiro/março). Esse comportamento do cloreto já tinha sido ventilado por (Cabral, 2004 [8]), no estudo da influência da sazonalidade regional nas alterações das características hidrogeoquímicas das águas estudadas. Diferenciando da tendência geral, o poço Naz25 mostra que o teor mais elevado de cloreto ocorreu no mês de setembro de 2001 (estiagem).

O estudo dos comportamentos para nitrato e amônio foi feito em conjunto. Foram analisados os poços Naz12, Naz13, Naz25, Naz38, Naz41, Red6, Red33, Uma7, Uma8 e Uma51. Os poços quando analisados individualmente tiveram, novamente, comportamento homogêneo, apresentando, em geral, uma relativa constância dos seus teores ao longo das diversas amostragens realizadas, com isoladas variações mais significativas. Constata-se que os teores máximos para nitrato, na maioria dos poços aqui analisados, foram encontrados no período de estiagem (setembro) e, principalmente, no início das chuvas (dezembro), coincidindo com o que foi constatado por (Cabral, 2004 [8]), quando estudou o comportamento sazonal desses parâmetros. O estudo conjunto desses dois parâmetros permitiu a classificação de 4 padrões principais de comportamento, caracterizados a seguir.

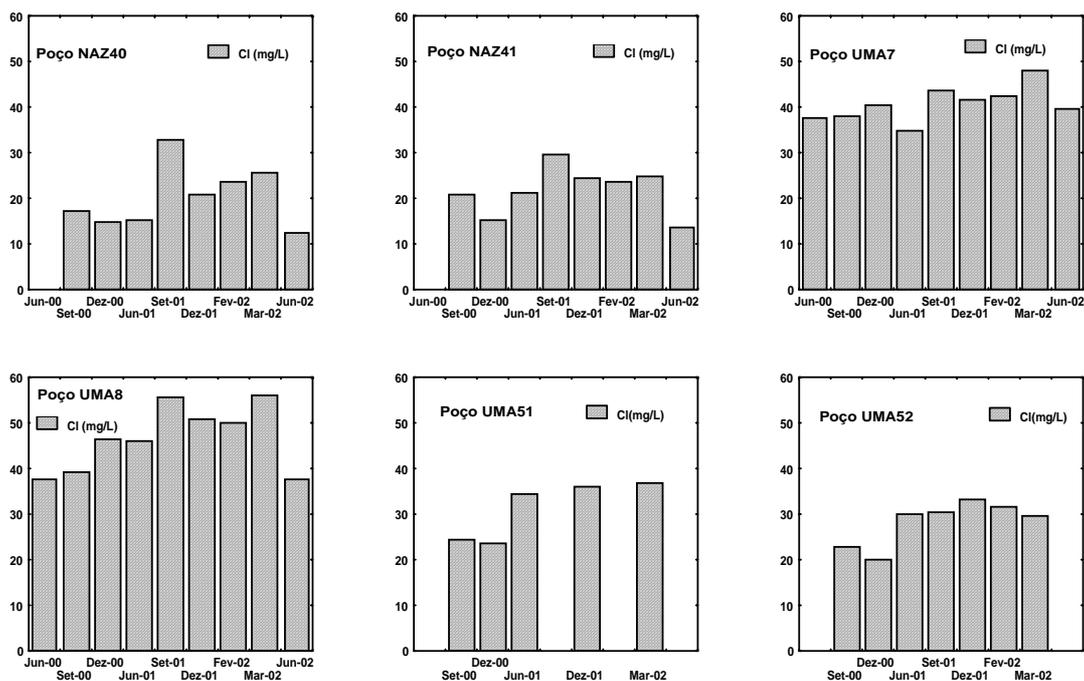


Figura 9 – Histogramas mostrando os teores de cloreto ao longo dos meses de amostragem para os poços Naz40, Naz41, Uma7, Uma8, Uma51 e Uma52.

Para efeito de comparação e escala do que seriam teores elevados e teores baixos de nitrato e amônio, foram considerados os limites máximos de potabilidade do nitrato e do amônio, definidos na Portaria nº 1.469 de 29 de dezembro de 2000 do Ministério da Saúde [12], que são respectivamente 10mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$ (45 mg/L NO_3) e 1,9 mg/L NH_4^+ . Salienta-se que alguns poços apresentavam teores de nitrato e amônio próximos ou acima do padrão de potabilidade da citada Portaria.

Assim, o padrão 1 corresponderia a poços com teores de nitrato altos e correspondentes teores baixos de amônio, exemplificados pelos poços Red33 e Red46 (Figura 10), e, mais claramente, pelos poços Naz13 e Naz41 (Figura 11). O padrão 2 seria caracterizado por teores elevados tanto de amônio quanto de nitrato (poços Uma7 e Uma8, Figura 12). O padrão 3 observado nos poços Red6 e Uma51, seria caracterizado por concentrações baixas a intermediárias de nitrato e correspondentes teores altos a relativamente altos de amônio (Figura 13). E por último, o padrão 4 seria traduzido por teores muito baixos para o amônio (poços Naz25, Naz12 e Naz38, Figura 14), acompanhado por teores intermediários de nitrato. O poço Naz38 está enquadrado nesse padrão com ressalva, já que o mesmo apresenta os teores de nitrato e amônio muito baixos em relação à tendência dos outros dois poços.

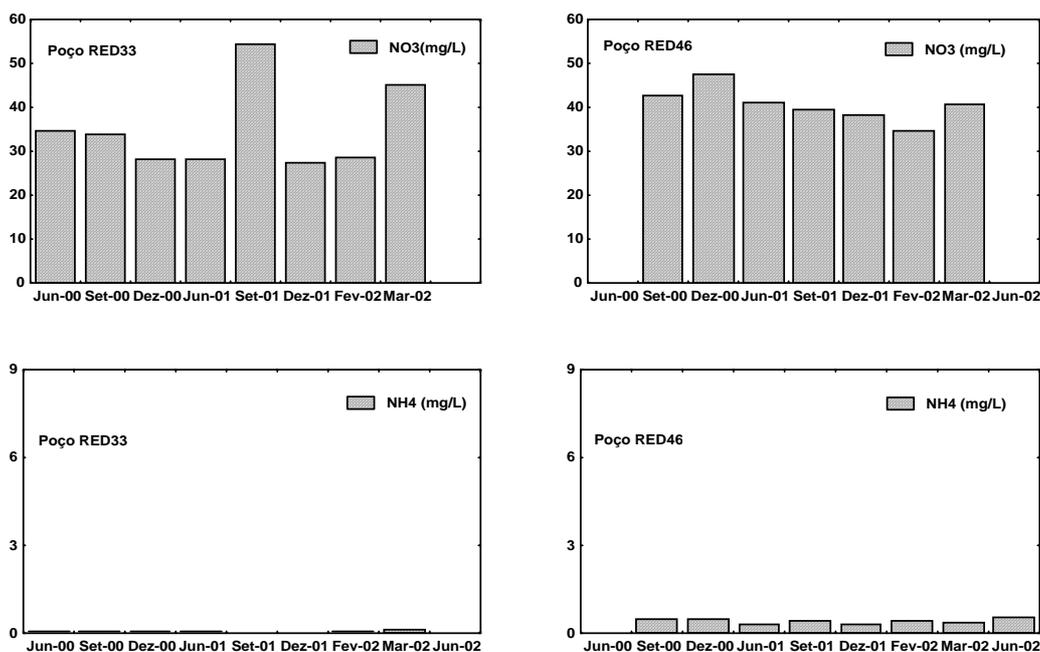


Figura 10 – Histogramas mostrando os teores de nitrato (NO_3^- altos e amônio (NH_4^+) baixos nos poços Naz33 e Naz46, caracterizando o padrão 1.

É importante destacar que os padrões definidos não guardam uma relação clara com a distribuição da rede de esgoto na área, conforme constatou (Cabral, 2004 [8]) analisando o mapa de esgoto da área e a localização dos poços estudados. Isso pode estar relacionado ao fato da instalação da rede de esgoto ser antiga, com mais de 50 anos de funcionamento, portanto, sujeita à fuga. Além disso, uma parcela dos condomínios e residências utiliza fossas para depositar seus dejetos, mesmo nas áreas onde a rede de esgoto existe. Mesmo assim, há uma tendência dos poços com teores elevados de amônio estarem posicionados no bairro do Umarizal, onde a rede é inexistente (Uma7, Uma8). Em contrapartida, o bairro de Nazaré está integrado ao sistema de esgoto e os poços localizados nesse bairro mostram teores de nitrato elevados, como por exemplo, os poços Naz13 e Naz41.

Para analisar os comportamentos individuais dos parâmetros cálcio, sódio, potássio e magnésio, foram selecionados os poços Red6, Uma7 e Red33 (Figura 15).

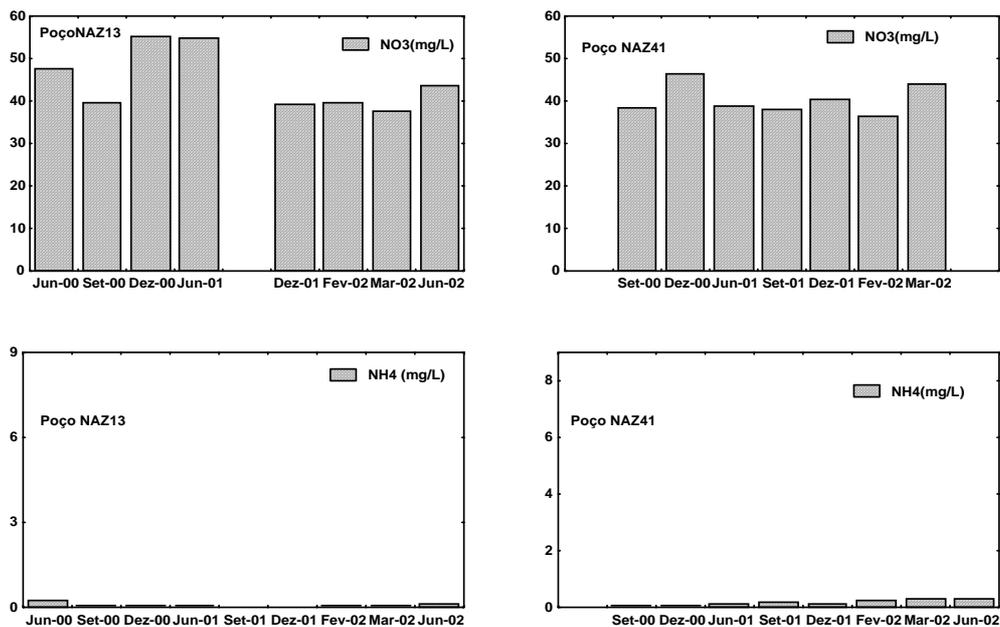


Figura 11 – Histogramas mostrando os teores de nitrato elevados (NO_3^-) e amônio baixos (NH_4^+) nos poços Red13 e Red41, caracterizando o padrão 1.

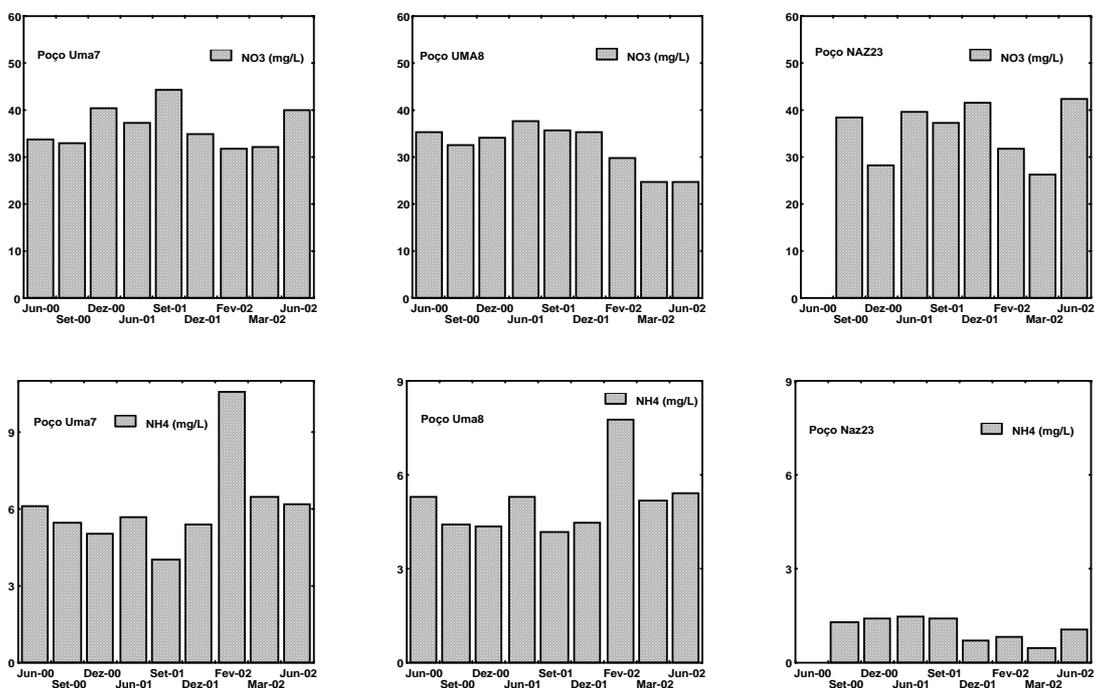


Figura 12 – Histogramas mostrando os teores de (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) elevados nos poços Uma7, Uma8 e Naz23, caracterizando o padrão 2.

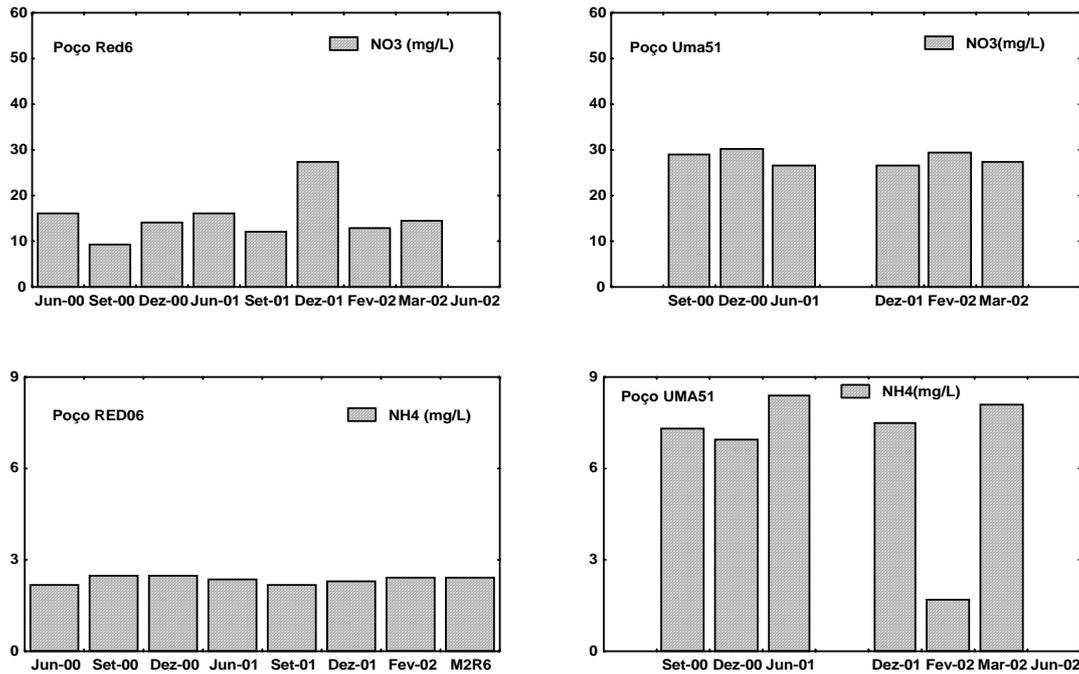


Figura 13 – Histogramas mostrando os teores de nitrato (NO_3^-) intermediários a baixos e de amônio (NH_4^+) elevados nos poços Red6 e uma51, caracterizando o padrão 3.

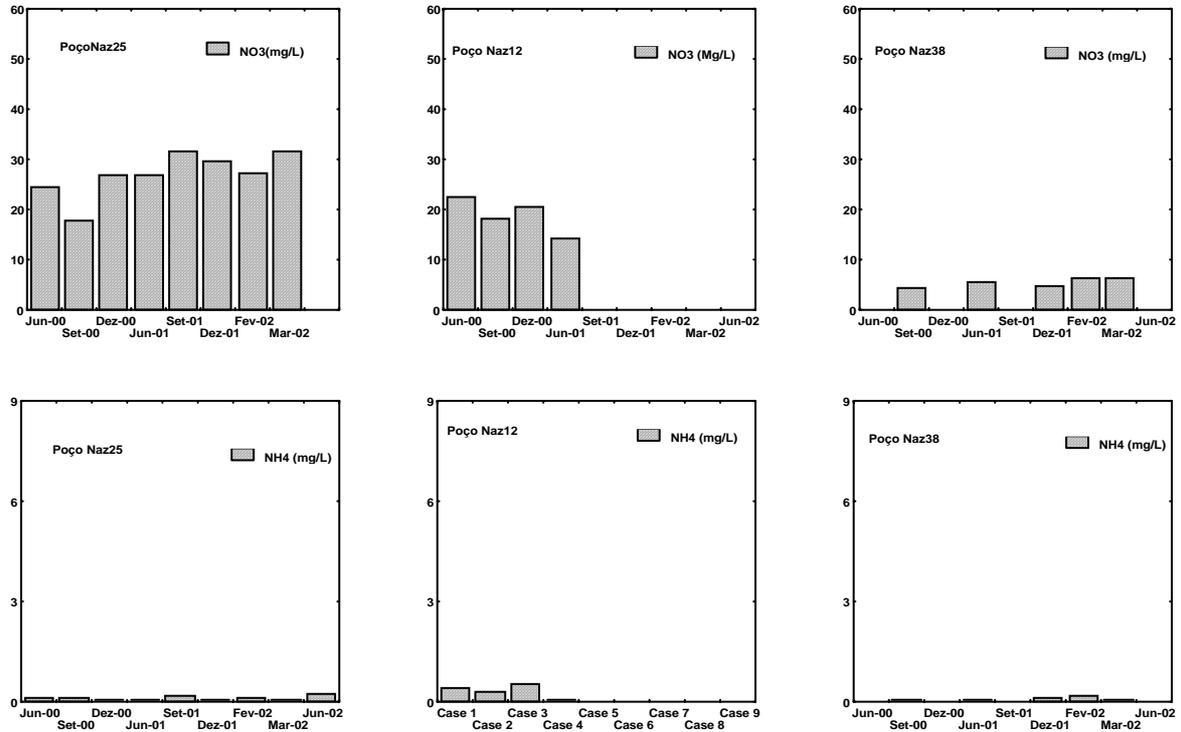


Figura 14 – Histogramas mostrando os teores de nitrato (NO_3^-) intermediários e de amônio (NH_4^+) baixos nos poços Naz25, Naz12 e Naz38, caracterizando o padrão 4.

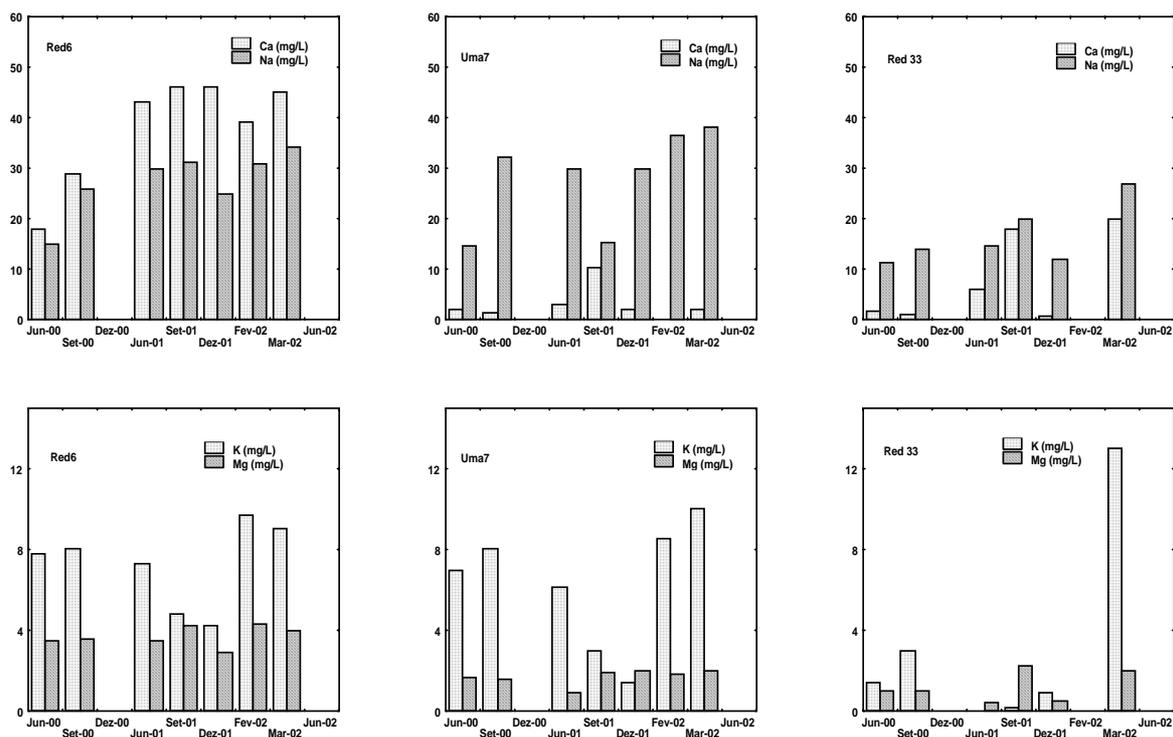


Figura 15 – Histogramas mostrando os teores de cálcio (Ca), potássio (K), sódio (Na) e magnésio (Mg) ao longo dos meses de amostragem nos poços Red6, Uma7 e Red33.

O poço Red6 apresenta, para cálcio, teores relativamente altos nas 5 últimas amostragens, com variação de 39 a 46 mg/L. Nos dois primeiros períodos (junho e setembro de 2000), os teores estão mais baixos (18 a 29 mg/L). Para os teores de sódio, na maioria das amostragens, o teor mínimo atingiu 25 e o máximo 34 mg/L, com exceção do mês de junho de 2000 que apresentou o teor mais baixo (15mg/L) se comparado à tendência dos demais períodos. Já os resultados de potássio apresentam valores discretamente mais elevados (9 a 9,7 mg/L) nos meses de fevereiro e março de 2002 e mais baixos em setembro e dezembro de 2001 (4,2 e 4,8 mg/L). Em relação ao magnésio, os resultados são praticamente similares ao longo dos períodos de amostragem. Acrescenta-se que o poço Red6, por apresentar teores intermediários de amônio e nitrato, está enquadrado no padrão 3, como já retratado.

O poço Uma7, pertence ao padrão 2, mostra teores baixos para cálcio (< 3 mg/L), com um relativo aumento no mês de setembro de 2001 (10 mg/L). Esse aumento coincide com uma discreta queda no resultado de amônio e uma elevação no teor de nitrato. As concentrações de sódio variam de 14,5 mg/L (junho-2000) até 38 mg/L (março-2002). Os teores de potássio apresentam um mínimo de 1,4 mg/L (dezembro-2001) e um máximo de 10 mg/L (março-2002). Os resultados de magnésio permaneceram relativamente constantes em todos os períodos.

O poço Red33 apresenta, no geral, valores baixos de cálcio (< 6 mg/L), sendo que nos dois períodos (setembro-2001 e março-2002) os resultados estão mais elevados (18 e 20 mg/L). A elevação dos valores de cálcio coincide com um aumento nos teores de nitrato. Os resultados de sódio variaram de 11 a 27 mg/L, enquanto que os teores de potássio mostraram um mínimo de 1,4 mg/L e um máximo de 14 mg/L. Para esses dois parâmetros, os meses com resultados mais altos foram, também, setembro de 2001 e março de 2002. Os resultados de magnésio, seguindo a tendência dos dois poços anteriores, não apresentaram variações significativas. Vale ressaltar que o poço Red33 foi classificado no padrão 1, com valores altos de nitrato e baixos de amônio.

Nos três poços estudados a análise dos resultados para cálcio, potássio, sódio e magnésio mostra que não existe influência significativa da sazonalidade na variação desses parâmetros. É interessante observar a relação entre o cálcio e o nitrato nos poços Red33 e Uma7, coincidindo, portanto, com a interpretação efetuada nos estudos de correlações por (Cabral, 2004 [8]), no qual a autora constatou uma correlação positiva.

Após a análise dos poços representativos nos diferentes períodos de amostragem, alguns comentários merecem destaque. Inicialmente, os poços, quando analisados individualmente, não apresentam grandes variações nos valores dos parâmetros hidrogequímicos, mas, quando comparados entre si, apresentam diferenças significativas que permitem separá-los em classes ou padrão de comportamento. Isso pode significar maior ou menor distância de fontes ativas de contaminação, que seriam, portanto, os fatores preponderantes na caracterização e/ou diferenciação hidrogequímica de um poço em uma área urbana, como a do estudo. O segundo comentário é que os padrões definidos para os teores de nitrato e amônio representam a amplitude do grau de contaminação desses poços. Cabe destacar que as características hidrogeológicas desses poços selecionados são semelhantes, as diferenças de comportamento estão, portanto, mais relacionadas à proximidade da fonte de contaminação do que a sua localização em relação ao fluxo subterrâneo (conforme as interpretações de Cabral, 2004 [8]). Exemplo dessa afirmação pode ser visto nos poços Uma8 e Uma7, pois mesmo posicionados em cota topográfica mais elevada (10 metros) e com nível estático em torno de 5,0m, apresentam elevados teores de nitrato e amônio. Enquanto que outros poços posicionados em cotas topográficas mais baixas (inferior a 5 metros) e com níveis estáticos rasos (inferior a 2m) mostram teores de amônio elevados (Red6) e baixos (Red46).

Assim, o padrão 1 mostra poços com enriquecimento de nitrato e baixo amônio (processo de transformação amônio para nitrato foi completo - nitrificação). Esse padrão está representado, especialmente, nos poços Naz13 e Naz41, apresentando tendência a pH mais alto (tendendo à neutralidade), além de condutividade elétrica e cloreto relativamente mais elevados, se comparados ao *background* regional dessas águas (ver Tabela 1). O padrão 2 está exemplificado pelos poços Uma7 e Uma8, com nitrato e amônio altos, fonte próxima e ativa permitindo a convivência ou

presença dos dois parâmetros, mostrando pH com característica mais ácida, acrescidos de condutividade elétrica e cloretos relativamente mais elevados. O padrão 3 mostra amônio alto, pH com tendência à neutralidade (em geral acima de 5,5) e condutividade elétrica elevada, podendo representar um ambiente redutor muito mais próximo das fossas e/ou dos efluentes de fossas sépticas do que o padrão 2. Finalmente, o padrão 4 é caracterizado por amônio muito baixo, nitrato com teores intermediários e valores da condutividade elétrica menores do que os outros padrões mencionados anteriormente. A Tabela 2 resume os principais aspectos desses padrões comportamentais.

É importante destacar que não foi observado com clareza, na área, o processo de nitrificação acompanhado com decréscimo de pH, principalmente nos poços Naz13 e Naz41, onde o padrão 1 é bem definido. Sugerindo, portanto, que a diminuição do pH é tamponada pela presença de substâncias alcalinas nos efluentes domésticos (Harman et al., 1996 [13]).

Tabela 1 – Características físico-químicas das águas potáveis explotáveis do aquífero Barreiras, na região de Belém /PA. (modificado de Cortez et al. 2000 [14]).

PARÂMETROS	MÍNIMO	MÁXIMO
PH	4,3	4,6
CE(μ S/cm)	28,5	45,0
Na ⁺ (mg/L)	1,60	1,7
K ⁺ (mg/L)	0,28	3,16
Ca ⁺² (mg/L)	0,11	0,20
Mg (mg/L)	Ab.	0,25
Cl ⁻ (mg/L)	Ab.	2,27
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	Ab.	2,64
SO ₄ ⁻ (mg/L)	Ab.	9,3

(Ab. : abaixo do limite de detecção do método)

Os dados dos padrões, apresentados acima, permitem fazer uma analogia com os estudos experimental feitos por (Wilhelm et al.,1996 [2]) e (Varnier,2001 [15]), no qual ficou evidenciado que nas proximidades das fossas, o ambiente redutor é mantido pela degradação da matéria orgânica, proveniente dos tanques sépticos ou de fossas (padrão 3). À medida que se afasta da fonte, em posição intermediária, compostos mais oxidados, como amônio e nitrato, aparecem em teores significativos, devido ao contato do contaminante com águas mais ricas em oxigênio (padrão 2). Desse modo, quando existe o predomínio de nitrato (padrões 1 e 4) em relação ao amônio, acredita-se que os poços, com essas características, estão mais afastados da fonte de contaminação.

Tabela 2 – Resumo dos padrões comportamentais definidos a partir das características dos indicadores de contaminação por efluentes domésticos. Os teores de nitrato, amônio e cloreto estão em mg/L. Os valores de CE em $\mu\text{S}/\text{cm}$.

ESTILOS	PARÂMETROS				
	Nitrato	Amônio	PH	CE	Cloreto
1	Alto	Baixo	Tendência à neutralidade	Alto	Alto
2	Alto	Alto	Tendência à acidez	Alto	Alto
3	Intermediário	Alto	Intermediário	Alto	Intermediário
4	Intermediário	Baixo	Tendência à acidez	Alto	Intermediário

CONCLUSÕES

O acompanhamento, em diferentes períodos sazonais, das águas dos poços construídos no aquífero Barreiras teve por finalidade verificar o comportamento dessas águas em relação aos parâmetros hidroquímicos, comumente utilizados como indicadores da contaminação por efluentes domésticos. Com essa finalidade, inicialmente, foram selecionados 12 poços para analisar os parâmetros pH, condutividade elétrica e cloreto e, posteriormente, foi feito o estudo conjunto do nitrato e amônio, utilizando-se 10 poços. Foram selecionados, ainda, 3 poços para observar mudanças dos teores dos íons principais.

As análises para pH, condutividade elétrica e cloreto indicaram que os poços, quando analisados individualmente, mostraram um comportamento relativamente homogêneo ao longo dos períodos, mas quando comparados entre si, foi possível distinguir poços com valores sempre mais elevados daqueles com os valores menos elevados. Para os parâmetros cálcio, potássio, sódio e magnésio foram observados o mesmo comportamento dos parâmetros anteriores. Na avaliação para nitrato e amônio, observou-se que os poços, quando analisados individualmente, tiveram comportamentos homogêneos, apresentando, em geral, uma relativa constância dos seus teores ao longo das amostragens realizadas. Por outro lado, o estudo conjunto dos poços permitiu a classificação de 4 padrões principais de comportamento para nitrato e amônio. O padrão 1 corresponderia a poços com valores altos de nitrato e baixos de amônio; o padrão 2 seria caracterizado por teores elevados tanto de amônio quanto de nitrato; o padrão 3 corresponderia a poços com concentrações baixas a intermediárias de nitrato e teores altos a relativamente altos de amônio e, finalmente, o padrão 4 seria traduzido por teores mais baixos para o amônio, acompanhado por teores intermediários de nitrato.

Os padrões definidos podem significar maior ou menor distância de fontes ativas de contaminação que seriam, portanto, os fatores preponderantes na caracterização hidrogeoquímica dos poços numa área urbana como a estudada. Desse modo, na proximidade da fossa (padrão 3), o

ambiente redutor é mantido pela degradação da matéria orgânica, proveniente dos tanques sépticos ou de fossas. À medida que se afasta da fonte, em posição intermediária, compostos mais oxidados como amônio e nitrato aparecem em teores significativos, devido ao contato do contaminante com águas mais ricas em oxigênio (padrão 2). Por outro lado, quando existe o predomínio de nitrato (padrões 1 e 4) em relação ao amônio, acredita-se que os poços estão mais afastados da fonte de contaminação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- [1] HIRATA, R. **Fundamentos e estratégia de proteção e controle da qualidade das águas subterrâneas. Estudo de casos no estado de São Paulo.** São Paulo, 1994. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências.
- [2] WILHELM, S. R.; SCHIFF, S.L.; CHERRY, J.A. Biogeochemical evolution of domestic waste water in septic systems: 1 Conceptual Model. **Ground Water**, 32 (6): 906- 916. 1994.
- [3] 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.
- [4] ASCHENGRAU, A; ZIERLER, S.; COHEN, A. Quality of community drinking water and the occurrence of spontaneous abortion. *Archives of Environmental Health*. 44 (5): 283-290.
- [5] PARÁ, Secretaria de estado de Industria, Comércio e Urbanismo (Seicom). **Plano diretor de mineração em áreas urbanas: região metropolitana de Belém e adjacências.** Belém, 1995.
- [6] PEHRMB. 2001. **Projeto de estudos hidrogeológicos da região Metropolitana de Belém e Adjacências. Relatório Final.** Belém: 2001. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/CPRM. (Relatório Concluído).
- [7] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo demográfico do Pará. 2000.
- [8] CABRAL, N.M.T. **Impacto da urbanização na qualidade das águas subterrâneas nos bairros do Reduto, Nazaré e Umarizal – Belém/PA.** Belém, 2004. Tese Doutorado. Centro de Geociências – UFPA.
- [9] COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DA ÁREA METROPOLITANA DE BELÉM. - Base digital CD-Room, 1999.
- [10] INMET.. Instituto Nacional de Meteorologia *Dados climáticos da estação de Belém.* Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br> > acesso em: 11 de maio de 2000.

- [11] 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.
- [12] BRASIL. Ministério da Saúde. 2000. Portaria n 1.469 de 29 de dezembro de 2000. Anexo Norma de qualidade da água para consumo humano.
- [13] HARMAN, J. ; ROBERTSON, W. D.; CHERRY, J. A.; ZANINI, L. Impacts on a sand aquifer from na Old Septic System: Nitrate and Phosphate. **Ground Water**, 34 (6): 1105 – 1114, 1996.
- [14] CORTEZ, C.M.B.;TAGLIARINI, E.M.;TANCREDI, A.C.F.N.S. Utilização de águas minerais dos aquíferos do Grupo Barreiras na região de Belém (PA). In: JOINT WORLD CONGRESS ON GROUNDWATER, 1. Fortaleza (CE) – CD-ROOM, 2000.
- [15] 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, 2001. (Dissertação de Mestrado). Instituto de Geociências – USP.