

# O PAPEL DA ESTRUTURA HIDROGEOLÓGICA NA CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS POR NITRATO EM NATAL/RN

*Edeweis Rodrigues de Carvalho Júnior<sup>1</sup>*

*José Geraldo de Melo<sup>2</sup>*

## RESUMO

As águas subterrâneas de Natal/RN mostram-se muitas vezes impróprias para o consumo humano, em função da presença do íon  $\text{NO}_3^-$ . Os resultados de um estudo de detalhe em uma área de 30 km<sup>2</sup>, envolvendo os bairros de Pirangi e Ponta Negra, revelaram que a estrutura hidrogeológica exerce um papel importante no contexto da contaminação das águas subterrâneas por  $\text{NO}_3^-$ . Ambos os bairros infiltram os efluentes domésticos em sistemas de fossas e sumidouros. No bairro de Ponta Negra, o aquífero foi caracterizado como do tipo livre, favorecendo uma rápida e constante infiltração das águas de chuvas (recarga) em direção às águas subterrâneas, diluindo os teores de  $\text{NO}_3^-$  para níveis abaixo do valor máximo permitido por lei (10 mg/L N-  $\text{NO}_3^-$ ). No bairro de Pirangi, a existência de um aquífero suspenso do tipo livre e raso, disponibilidade de oxigênio e uma fonte de energia (esgotos) cria um ambiente favorável à proliferação de bactérias aeróbicas, propício à decomposição da matéria orgânica contida nos esgotos por tais bactérias para  $\text{NO}_3^-$ . Esse aquífero suspenso funcionaria como um grande “reservatório” de esgotos e de produtos de decomposição dos mesmos (como  $\text{NO}_3^-$ ), os quais seriam lixiviados para as águas subterrâneas mais profundas, contaminando-as com teores de  $\text{NO}_3^-$  muitas vezes superiores a 20 mg/L N-  $\text{NO}_3^-$ .

## INTRODUÇÃO

As reservas de águas subterrâneas são consideradas como um recurso estratégico, sendo de fundamental importância para o desenvolvimento da vida na Terra. Os volumes mundiais de águas subterrâneas totalizam cerca de 8,4 milhões de km<sup>3</sup>, o que corresponde a 97% do volume de água doce líquida existente no planeta. Entretanto, tais recursos vem sendo cada vez mais degradados, onde o íon nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) apresenta-se como o contaminante mais frequente, em função de sua grande mobilidade geoquímica e estabilidade em sistemas aeróbicos. Concentrações de nitrato em águas acima do valor máximo permissível por lei (VMP) de 10 mg/L N- $\text{NO}_3^-$  representam risco à saúde humana, podendo causar morte por asfixia em crianças de 0 a 6 meses de vida (Metahemoglobinemia) e câncer gástrico em adultos.

---

1) Programa de Pesquisa e Pós Graduação em Geociências-UFRN. Rua Agricolândia, 2431, Panatis I, Natal/RN CEP: 59.108-370. E-mail: [ercjunior@bol.com.br](mailto:ercjunior@bol.com.br)

2) Depto. Geologia/UFRN. Campus Universitário, Natal/RN. CEP: 59.072-970.  
E-mail: [jgmelo@ufrnet.br](mailto:jgmelo@ufrnet.br)



Desde a década de 1980, o íon nitrato vem sendo detectado nas águas subterrâneas da cidade de Natal em concentrações superiores ao VMP. Inicialmente, tais concentrações foram atribuídas a processos de contaminação localizados, relacionadas à má construção de poços e proximidade dos mesmos a fossas, currais, dentre outras fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas. Estudos mais recentes mostram que uma área expressiva da cidade apresenta águas subterrâneas com teores de nitrato superiores ao VMP. Esse é um problema preocupante, já que cerca de 65% do abastecimento público de água de Natal é oriundo das águas subterrâneas.

Atualmente, a falta de saneamento básico em grande parte da cidade de Natal é considerada como o principal fator que causa tal contaminação, já que grande parte do esgoto produzido é disposto no meio insaturado, em sistemas de fossas e sumidouros. De um modo geral, o mecanismo de contaminação de tais águas pode estar relacionado à decomposição da matéria orgânica contida em tais esgotos por bactérias para  $\text{NO}_3^-$ , o qual é conduzido em seguida para as águas subterrâneas, contaminando-as.

Este trabalho foi desenvolvido na cidade de Natal/RN, em uma área de 30,0 km<sup>2</sup> situada entre os bairros de Pirangi e Ponta Negra. O principal objetivo do mesmo foi avaliar a influência da estrutura hidrogeológica na contaminação das águas subterrâneas por  $\text{NO}_3^-$ . O entendimento da evolução geoquímica das águas subterrâneas da área estudada, e suas relações com o comportamento hidrogeológico, servirão como subsídio para a adoção de estratégias de remediação do processo de contaminação das águas subterrâneas de Natal por  $\text{NO}_3^-$ .

## EVOLUÇÃO DOS CONHECIMENTOS

### CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

A partir da década de 1970 alguns estudos hidrogeológicos foram realizados, visando principalmente à caracterização da estrutura hidrogeológica e definição da potencialidade dos recursos hídricos subterrâneos da referida cidade.

A geologia da região de Natal é representada por uma seqüência de sedimentos carbonáticos (Cretáceo) na base (não aflorante), sendo recobertos por sedimentos de composição areno-argilosa do Grupo Barreiras (Terciário-Quaternário), sobre o qual ocorre uma extensa cobertura de areias inconsolidadas formando as dunas (Quaternário) e sedimentos aluvionares (Quaternário).

Os primeiros trabalhos hidrogeológicos realizados em Natal apontaram para a existência de duas unidades aquíferas principais, com base nas características litológicas e hidráulicas: Aquífero Dunas, raso, formado pelas dunas; Aquífero Barreiras, profundo, variando de livre a semiconfinado. A porção superior do Grupo Barreiras é composta de arenitos muito argilosos e argilas, funcionando como substrato semipermeável (aquitard) do Aquífero Dunas e camada semiconfinante do Aquífero Barreiras (PLANAT, 1983; ACQUA-PLAN, 1988). Nesses trabalhos foi apontada a existência de uma forte comunicação hidráulica entre tais aquíferos.

O avanço dos conhecimentos sobre a estrutura hidrogeológica da região de Natal permitiu caracterizar que as dunas e os sedimentos do Grupo Barreiras formariam sistema hidráulico único, denominado de Sistema Aquífero Dunas-Barreiras (Melo, 1995). Esse sistema foi



caracterizado como muito complexo e indiferenciado, comportando-se predominantemente como do tipo livre. Nesse contexto, as dunas exerceriam apenas a função de transferência de águas de infiltração em direção aos estratos inferiores de constituição arenosa do Grupo Barreiras.

## QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Somente a partir da década de 1980 foi dada ênfase à caracterização hidroquímica das águas subterrâneas da cidade de Natal e sua adequação para diversos fins. Dentre esses, citam-se os trabalhos realizados pelo IPT (1982), PLANAT (1983), ACQUA-PLAN (1988) e Melo (1995).

Os estudos desenvolvidos pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) em 1982 na região de Natal classifica as águas subterrâneas como de excelente qualidade físico-química, prestando-se para quase todos os fins. Os teores de  $\text{NO}_3^-$  nessas águas foram muito baixos, não ultrapassando 10 mg/L de  $\text{NO}_3^-$ . Entretanto, foram observados em alguns pontos isolados teores de nitrato acima do valor máximo permissível (10 mg/L de N- $\text{NO}_3^-$ ). Esses teores foram atribuídos a processos de poluição localizados, sendo relacionados a problemas de má construção de poços (ausência de cimentação adequada).

O estudo desenvolvido pela PLANAT (1983) também encontrou somente alguns pontos isolados com águas subterrâneas com teores de  $\text{NO}_3^-$  acima de 10 mg/L de N- $\text{NO}_3^-$ . Esses teores foram também atribuídos a processos localizados de contaminação.

No estudo desenvolvido pela ACQUA-PLAN (1988) os teores de  $\text{NO}_3^-$  detectados mostraram um aumento considerável na maioria das águas de poços analisadas, persistindo a idéia de que a contaminação por  $\text{NO}_3^-$  não atingia o aquífero como um todo.

Melo (1995) admite que as dunas e os sedimentos do Grupo Barreiras formariam um sistema aquífero único, onde tais águas seriam em geral do tipo bicarbonatada cálcica até cerca de 30 m de profundidade e clorretadas sódicas em maiores profundidades. Os dados obtidos por esse autor mostram que grande parte da cidade possui águas subterrâneas com teores de  $\text{NO}_3^-$  acima do valor máximo permitido (10 mg/L de N- $\text{NO}_3^-$ ), sendo tais teores provavelmente oriundos da degradação de excrementos humanos provenientes de sistemas de fossas e sumidouros.

## DESCRIÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A área estudada compreende uma superfície de 30 km<sup>2</sup>, englobando parte dos bairros de Pirangi e Ponta Negra da cidade de Natal/RN. Tais bairros localizam-se na zona sul da cidade, são relativamente recentes ( $\pm$  30 anos) e vizinhos (Fig. 1). O esgoto gerado em tais bairros é disposto em sistemas de fossas e sumidouros escavados no meio insaturado. A Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN) opera uma bateria de poços de captação de águas subterrâneas em cada bairro (13 poços cada bateria). Melo (1995) apontou a presença de teores significativos do íon nitrato nas águas subterrâneas dos referidos bairros. Atualmente, as águas subterrâneas da região estudada apresentam níveis de teores de nitrato preocupantes, muitas vezes acima do VMP (10 mg/L N- $\text{NO}_3^-$ ). Apesar de estarem localizadas em faixas de terreno vizinhas e possuírem o mesmo contexto de disposição de esgotos no subsolo, as águas subterrâneas do bairro de Pirangi apresentam elevados teores de nitrato, alcançando um máximo de 23 mg/L N- $\text{NO}_3^-$  (Carvalho Jr., 2001). No bairro de Ponta Negra os teores de nitrato não ultrapassam o VMP, com teores máximos de 8,6 mg/L N- $\text{NO}_3^-$  (Carvalho Jr., op. cit.).



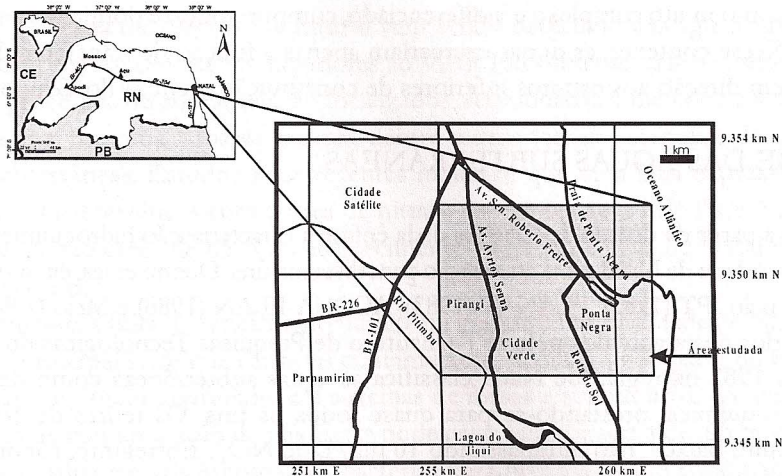


Fig. 1 – Localização da área estudada

## GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA

Foram reconhecidas na área quatro unidades litoestratigráficas: uma unidade basal, que não aflora em superfície, formada por calcários e arenitos calcíferos (Cretáceo); arenitos pouco a muito argilosos a siltitos/argilitos, aflorante na porção SW da área, correlacionados ao Grupo Barreiras (Terciário Quaternário). Esse grupo foi subdividido nas unidades Barreiras Inferior (arenitos finos a grossos pouco argilosos) e Barreiras Superior (arenitos muito argilosos a argilitos/siltitos); sedimentos inconsolidados compostos por areias quartzosas finas a médias, correlacionados às dunas (Quaternário), depositados sobre o Grupo Barreiras na porção central da área; sedimentos inconsolidados de composição areno-argilosa, relacionados aos depósitos aluvionares (Quaternário) que ocorrem no extremo SW da área (Fig. 2).

Os sedimentos do Grupo Barreiras juntamente com as dunas formam o Sistema Aquífero Dunas Barreiras definido por Melo (1995). No modelo proposto por esse autor, o sistema aquífero da região de Natal é predominantemente do tipo livre, com semiconfinamentos localizados. A partir da confecção e análise de seções hidrogeológicas efetuadas na área estudada, foram reconhecidos dois contextos hidráulicos diferenciados.

Na região de Ponta Negra, o aquífero é predominantemente livre, onde as dunas e os sedimentos do Grupo Barreiras formam um sistema hidráulico único, podendo ser definido como proposto por Melo (op. cit.): Sistema Aquífero Dunas-Barreiras. As águas de precipitações pluviométricas seriam rapidamente infiltradas nas dunas, que possuem elevada porosidade, sendo conduzidas em seguida para as águas subterrâneas, recarregando o aquífero.

Na região de Pirangi, a unidade Barreiras superior, que ocorre no subsolo, possui um conteúdo de argila muito superior ao encontrado na região de Ponta Negra, formando uma lente de composição argilo-arenosa com características de aquitard, de dimensões laterais não conhecidas. Esse fato leva as águas armazenadas na unidade Barreiras inferior a serem semiconfinadas pelo referido aquitard nessa região especificamente, contribuindo também para a formação de uma unidade aquífera suspensa por tal lente, representada pelos sedimentos dunares, do tipo livre. Nessa região, foram reconhecidas dois níveis aquíferos localizados: Aquífero Dunas, do tipo livre e formado pelas dunas, e Aquífero Barreiras, do tipo semiconfinado e formado pela unidade Barreiras Inferior.



## AMOSTRAGEM E ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Durante o período entre novembro de 1999 e dezembro de 2000 foram efetuadas 5 etapas de amostragem e análise físico-química das águas de 31 poços tubulares existentes na área. Desse total, 22 poços tubulares compõem as captações d'água da CAERN nos bairros de Pirangi e Ponta Negra, além de 4 piezômetros de monitoramento da Estação de Tratamento de Esgotos do Bairro de Ponta Negra (ETE – em operação desde setembro/2000) e 5 poços particulares.

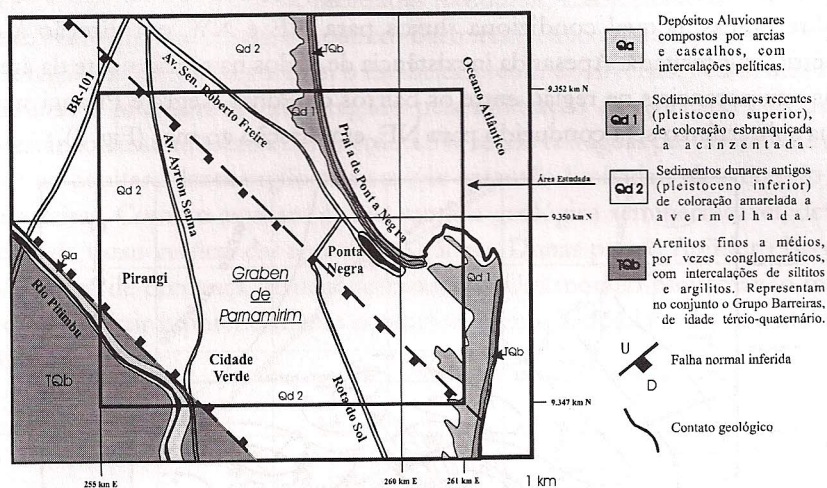


Fig. 2 – Contexto geológico da área estudada.

A amostra d'água foi coletada em cada poço após o bombeamento do mesmo por 10 a 15 minutos, visando coletar a água exclusivamente armazenada nos sedimentos do Grupo Barreiras. Após o bombeamento, foi coletado um volume de 2 L de água, o qual foi acondicionado em um recipiente plástico de polietileno, lavado e esterilizado, sendo em seguida fechado de modo a não permitir o acúmulo de ar atmosférico no seu interior. Imediatamente após a coleta, tais amostras foram conduzidas para o Laboratório Central da CAERN para posterior análise das amostras para  $N-NO_3^-$ ,  $N-NO_2^-$ ,  $Cl^-$  e medição de valores de pH em laboratório. Durante a coleta das amostras foram efetuadas medidas de C (condutividade elétrica), utilizando-se um condutivímetro portátil *Hanna*. Os parâmetros  $N-NO_3^-$ ,  $N-NO_2^-$ ,  $Cl^-$  foram obtidos com base nos métodos padrões para a análise de águas propostos pela *American Public Health Association* (APHA), *American Water Works Association* (AWWA) e *Water Environment Federation* (WEF) (1998). Os valores de pH foram obtidos com o auxílio de um pHmetro portátil *Hanna*.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### FLUXO D'ÁGUA SUBTERRÂNEO

A caracterização do fluxo d'água subterrâneo para a área estudada foi obtida com base na construção de dois mapas potenciométricos, relativos aos meses de janeiro e setembro de 2000, ao término das estações de verão e inverno, respectivamente.



No mês de janeiro/2000 (verão), a configuração das equipotenciais mostra que a principal zona de recarga localiza-se no setor S/SE da área estudada (Fig. 3). A partir dessa zona, as linhas equipotenciais indicam fluxos d'água subterrânea em direção a uma grande depressão potenciométrica, que abrange a região localizada na porção central da área (no bairro de Ponta Negra), ao longo de um eixo em direção a SW, na região do poço PIR-13 (Fig. 3). Tal depressão provavelmente está refletindo a expansão do cone de rebaixamento gerado pelo constante bombeamento das águas subterrâneas dessa região, em regime de 24/24h, pelos poços das captações de Ponta Negra e Pirangi, para o atendimento das necessidades hídricas dos moradores dessa mesma região. Na região de recarga, observa-se a existência de um divisor d'água subterrânea, o qual condiciona fluxos para NE e NW, em direção à depressão potenciométrica supracitada. Apesar da inexistência de dados na região norte da área, a configuração das equipotenciais na região entre os bairros de Ponta Negra e Pirangi sugere que o fluxo d'água subterrâneo seja conduzido para NE, em direção ao mar (Fig. 3).

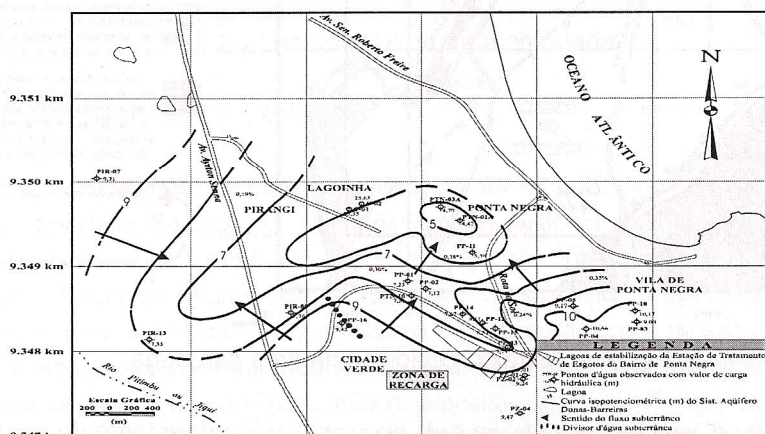


Fig. 3 – Potencimetria da área estudada. Janeiro/2000 (verão).

No mês de setembro de 2000 (inverno) a configuração das equipotenciais continua mostrando a região sul da área como principal zona de recarga da área (Fig. 4). A inexistência de urbanização associada à presença de dunas de elevadas altitudes nessa região contribui para que a mesma funcione como zona preferencial de infiltração das águas de chuvas, potencializando a recarga das reservas de águas subterrâneas. A configuração das equipotenciais nesse período denota a existência de um fluxo centrífugo a partir da zona de recarga supracitada (Fig. 4). A distribuição radial de tal fluxo é devida a existência de um divisor d'água subterrânea caracterizado entre as regiões da Lagoinha e Cidade Verde. Tal divisor condiciona fluxos de águas subterrânea em direção a NE, NW e SW.

Em função da existência de um nível aquífero suspenso na região de Pirangi, representado pelos sedimentos dunares, são observados fluxos de águas armazenadas no Aquífero Dunas em direção a SW (Fig. 4). Tal fluxo deve contribuir com o reabastecimento do Aquífero Barreiras, fluindo lateralmente ao limite desse nível suspenso (unidade Barreiras superior), bem como por drenança vertical descendente. Os escoamentos subsuperficiais de água em direção a SW sugerem que nesse período há uma contribuição de águas subterrâneas na recarga do rio Pitimbu (Fig. 4). Apesar do setor extremo norte da área ser carente de dados, percebe-se nitidamente que a configuração das curvas equipotenciais entre os bairros de Ponta Negra e Pirangi continuam sugerindo fluxos d'água subterrâneas em direção a E-NE (Fig. 4), em direção ao mar, que representa a zona de descarga do Sistema Aquífero Dunas-Barreiras em nível regional.



### CENÁRIO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL

Considerando-se as características litológicas e o padrão de escoamento das águas subterrâneas, foram caracterizados dois comportamentos hidráulicos distintos na área estudada. Na porção W (bairro de Pirangi) são reconhecidas duas unidades aquíferas independentes: Aquíferos Dunas (do tipo livre) e Barreiras (do tipo semiconfinado). Na porção E da área, as dunas e os sedimentos do Grupo Barreiras formam um sistema hidráulico único, denominado de Sistema Aquífero Dunas-Barreiras, do tipo livre. Na região de Ponta Negra, as águas de chuvas precipitadas são rapidamente infiltradas nas dunas, abastecendo diretamente as águas subterrâneas. Na região de Pirangi, o Aquífero Barreiras (semiconfinado) recebe fluxo de águas oriundas da região de Ponta Negra com o estabelecimento do inverno. Nessa mesma região, o Aquífero Dunas é prontamente recarregado pela infiltração da água das chuvas e o fluxo d'água subterrâneo desse aquífero é em direção a SW, sendo tais águas provavelmente conduzidas lateralmente ao aquitard/lente argilo-arenosa (de extensão limitada), abastecendo também o Aquífero Barreiras. Como o aquitard é uma camada geológica semipermeável, devem existir componentes de fluxo vertical das águas do Aquífero Dunas para o Aquífero Barreiras, através de fenômenos de drenança vertical descendente. Um modelo esquemático mostrado na Fig. 5 procura explicar hipoteticamente o funcionamento hidráulico do sistema aquífero da área estudada.

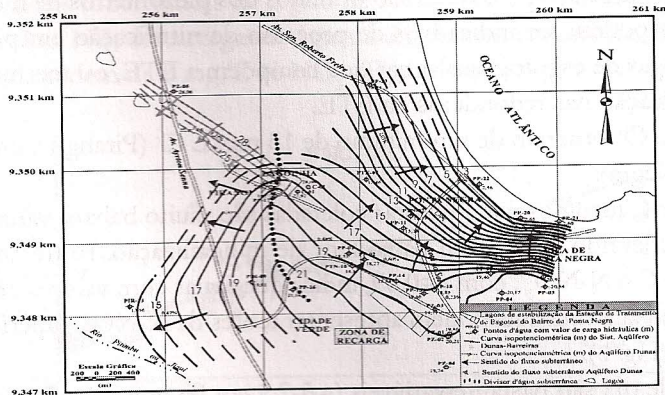


Fig. 4 – Potenciometria da área estudada. Setembro/2000 (inverno).

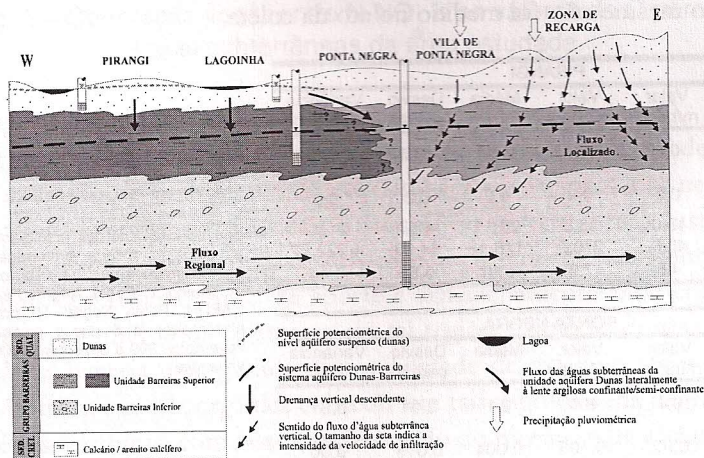


Fig. 5 – Cenário hidrogeológico esquemático da região compreendida entre os bairros de Pirangi e Ponta Negra, Natal/RN.



## ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Um resumo dos resultados obtidos para as águas subterrâneas dos bairros de Pirangi e Ponta Negra é mostrado na Tab. 1.

Os resultados das análises físico-químicas das amostras d'água subterrâneas coletadas na área mostraram que o íon nitrato foi detectado em todas as amostras. O valor mínimo registrado foi de 0,4 mg/L N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Pirangi e Ponta Negra) e o valor máximo foi de 23 mg/L N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Pirangi) (Tab. 1). A presença de tal íon nas águas pode estar relacionada à presença do mesmo nas águas de chuvas (geração de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> através de reações fotoquímicas na atmosfera) ou mesmo oriundo da degradação da matéria orgânica dos esgotos que são dispostos no meio insaturado, com geração de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e posterior lixiviação para as águas subterrâneas. Essas considerações são baseadas em uma análise de água de chuva da região de Natal, que apresentou concentrações de 0,35 mg/L NH<sub>3</sub> e 1,83 mg/L NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (ACQUA-PLAN, 1988), além de determinações de valores de d<sup>15</sup>N normalmente superiores a 9‰ (Melo, Queiroz & Hunziker, 1998), indicativos de fonte de N oriundo de efluentes sépticos e adubos (Clark & Fritz, 1997).

Apesar do NO<sub>2</sub><sup>-</sup> ser uma espécie química bastante instável, e ser apenas um produto intermediário do processo de nitrificação (Manahan, 1994), o mesmo foi detectado em pequenas quantidades na região de Ponta Negra. Foram obtidos teores máximos de N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> da ordem de 0,105 mg/L N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, os quais são oriundos dos piezômetros de monitoramento da ETE. Esses teores podem ser indicativos de processo de nitrificação em pleno desenvolvimento, fruto de fugas de esgotos das lagoas que compõem a ETE, ou mesmo processo localizado de desnitrificação nas redondezas da ETE.

Os teores de Cl<sup>-</sup> variaram de um mínimo de 13 mg/L Cl<sup>-</sup> (Pirangi) a um máximo de 37 mg/L Cl<sup>-</sup> (Ponta Negra).

Os valores de C medidos nas amostras coletadas são muito baixos, variando de 43 a 270 µS/cm (Pirangi), refletindo águas com baixo teor de mineralização. Entretanto, a correlação entre os valores de C e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, com r=0,89, indica que águas com valores de C da ordem de 160 µS/cm, com baixa salinidade, podem apresentar teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> superiores ao VMP de 10 mg/L N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Fig. 6).

Os valores de pH são bastante variáveis (4,5-7,9 em Pirangi e 4,6-7,5 em Ponta Negra) e apresentam baixa correlação com o NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, podendo não refletir as verdadeiras concentrações de [H<sup>+</sup>], já que o mesmo não foi medido no ato da coleta.

PIRANGI					
Parâmetro	Valor mínimo	Valor máximo	Média	Desvio padrão	Variância (*) <sup>2</sup>
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0,4	23,0	7,63	5,97	35,68
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	13,0	36,0	26,11	4,67	21,77
C (µS/cm)	43,0	270,0	128,15	64,98	4.222,72
pH	4,5	7,9	5,67	0,66	0,44
PONTA NEGRA					
Parâmetro	Valor mínimo	Valor máximo	Média	Desvio padrão	Variância
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0,4	8,6	2,1	2,61	6,81
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0,00	0,105	0,004	0,018	0,00
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	17,00	37,00	25,09	4,00	16,00
C (µS/cm)	45,00	250,00	87,25	38,73	1.500,11
PH	4,6	7,5	5,72	0,74	0,55

Tab. 1 – Sumário dos resultados analíticos para as amostras d'água subterrânea armazenadas nos sedimentos do Grupo Barreiras, nos bairros de Pirangi e Ponta Negra. Pirangi: 12 poços; CAERN; Ponta Negra: 10 poços CAERN, 4 piezômetros e 5 poços particulares. Período: novembro/1999 a dezembro/2000. \* - Valores de variância.



## DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ÍON NITRATO

Para avaliar a distribuição espacial do  $\text{NO}_3^-$  na área estudada foram construídos mapas de iso-concentração do referido íon referentes aos meses de fevereiro e agosto de 2000, relacionados aos períodos de verão e inverno, respectivamente.

### Distribuição do $\text{NO}_3^-$ no Verão

A distribuição espacial do  $\text{NO}_3^-$  no mês de fevereiro de 2000, que corresponde ao período seco (verão), mostra que a região de Ponta Negra apresenta baixos teores de  $\text{NO}_3^-$ , contrastando com os elevados teores do mesmo íon encontrados na região de Pirangi (Fig. 7).

Na região ao sul de Ponta Negra, nas imediações da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) do referido bairro, as concentrações de  $\text{NO}_3^-$  são sempre inferiores a 1 mg/L de N- $\text{NO}_3^-$  (Fig. 7). Em direção a NE, onde está edificado o bairro de Ponta Negra, tais concentrações mostram um crescimento considerável, chegando a atingir valores da ordem de 8 mg/L N- $\text{NO}_3^-$  (Fig. 7). Os baixos teores de N- $\text{NO}_3^-$  ( $\pm 1$  mg/L N- $\text{NO}_3^-$ ) encontrados ao sul de Ponta Negra podem estar relacionados à presença da zona de recarga da área nessa mesma região, fazendo com que tais águas estejam sendo sempre renovadas e diluídas. O  $\text{NO}_3^-$  que é lixiviado para as águas subterrâneas na região de Ponta Negra é transportado pelo fluxo subterrâneo em direção a NE, descarregando águas subterrâneas em direção ao mar com concentrações de  $\text{NO}_3^-$  da ordem de 8 mg/L N- $\text{NO}_3^-$  (Figs. 3,4 e 7).

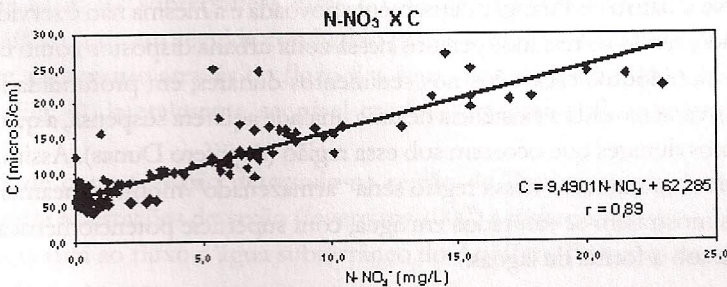


Fig. 6 – Correlação linear entre N- $\text{NO}_3^-$  e os valores de C para as águas subterrâneas da área estudada.

Na região de Pirangi observa-se a presença de elevados teores de  $\text{NO}_3^-$ , alcançando 21,5 mg/L N- $\text{NO}_3^-$  (Fig. 7). Tais concentrações se dispõem de forma circular, podendo representar a indicação da extensão de uma pluma de contaminação pelo íon  $\text{NO}_3^-$  nessa região. Essa pluma está posicionada sobre a região de ocorrência do nível aquífero suspenso (Aquífero Dunas). Nesse contexto, o nível aquífero suspenso representado pelas dunas na região de Pirangi funcionaria como uma região de aporte e armazenamento momentâneo do esgoto oriundo das fossas e sumidouros existentes em tal região. Como as dunas apresentam uma elevada porosidade, haveria uma grande disponibilidade de oxigênio até um certo nível de profundidade. Assim, a matéria orgânica existente em tais esgotos seria degradada para  $\text{NO}_3^-$  através de bactérias aeróbicas, com posterior lixiviação do mesmo para as águas armazenadas no Aquífero Barreiras através de drenança vertical descendente ou mesmo por fluxo das águas do Aquífero Dunas lateralmente a esse nível suspenso, em direção ao Aquífero Barreiras.



## Distribuição do $\text{NO}_3^-$ no Inverno

A distribuição espacial do  $\text{NO}_3^-$  no mês de agosto de 2000, que corresponde ao período chuvoso (inverno), continua mostrando que a região de Ponta Negra apresenta baixos teores de  $\text{NO}_3^-$ , ao passo que a região de Pirangi continua mostrando elevados teores do mesmo íon (Fig. 8).

As concentrações de  $\text{NO}_3^-$  na porção sul da área, nas imediações da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) do bairro de Ponta Negra, continuam mostrando-se inferiores a 1 mg/L de N- $\text{NO}_3^-$  (Fig. 8). Em direção a NE, as concentrações do referido íon continuam mostrando um crescimento considerável, atingindo novamente valores da ordem de 8 mg/L N- $\text{NO}_3^-$  (Fig. 8).

A área inserida entre a curva de 1 mg/L N- $\text{NO}_3^-$  mostra uma diminuição considerável, comparado ao observado em fevereiro de 2000 (Figs. 7 e 8). A redução de tal área se deve provavelmente a lixiviação do  $\text{NO}_3^-$  produzido nas porções superficiais do solo pelas águas das chuvas, sendo em seguida conduzido no meio saturado pelo fluxo d'água subterrâneo em direção a NE e NW (Fig. 8). Em função de tal área estar localizada em região não urbanizada e nas proximidades da zona de recarga da área estudada, a mesma ainda não apresenta evidências de um processo crescente de contaminação das águas subterrâneas por  $\text{NO}_3^-$ . O aumento dos teores de  $\text{NO}_3^-$  em direção a NE continua evidenciando a influência do fluxo d'água subterrâneo no transporte desse contaminante em direção ao mar.

Na região de Pirangi, a pluma de contaminação por  $\text{NO}_3^-$  evidenciada no verão (fevereiro/2000 – ver Fig. 7) continua sendo bem caracterizada no período de inverno (Fig. 8). Porém, a mesma mostra-se ocupando uma área mais ampla, exibindo teor máximo de 23,0 mg/L N- $\text{NO}_3^-$  (Fig. 8). A região que envolve o bairro de Pirangi é densamente povoada e a mesma não é servida de sistema de saneamento básico, sendo os resíduos gerados nessa zona urbana dispostos como esgoto em sistemas de fossas e sumidouros escavados nos sedimentos dunares, em profundidades rasas. Nessa mesma região, foi caracterizada a existência de uma unidade aquífera suspensa, a qual seria composta pelos sedimentos dunares que ocorrem sob essa região (Aquífero Dunas). Assim, todo o esgoto lançado nas fossas e sumidouros nessa região seria “armazenado” momentaneamente nesses sedimentos, os quais mostraram-se saturados em água, com superfície potenciométrica muito rasa ou mesmo aflorante sob a forma de lagoas.

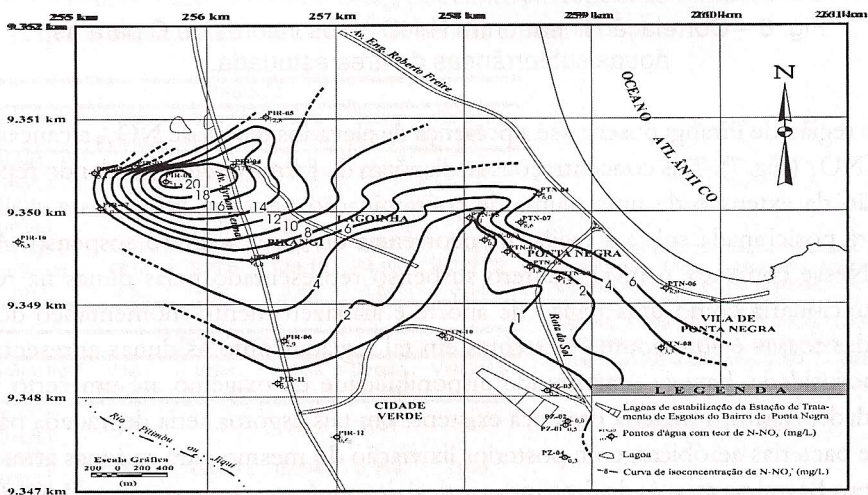


Fig. 7 – Distribuição espacial do  $\text{NO}_3^-$  na área estudada em fevereiro/2000 (verão).



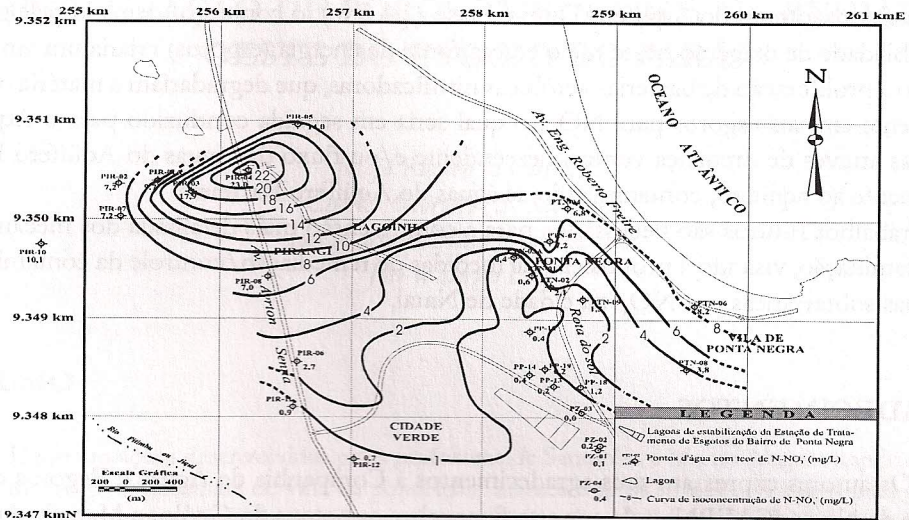


Fig. 8 – Distribuição espacial do  $\text{NO}_3^-$  na área estudada em agosto/2000 (inverno).

A elevada porosidade dos sedimentos dunares favorecerá a formação de um meio insaturado pouco profundo (da ordem de 2 a 5 m), com bastante oxigênio disponível. Assim, esse cenário caracteriza a formação localizada de um “reservatório subterrâneo de esgotos”, com oxigênio disponível, propício à proliferação de bactérias nitrificadoras aeróbicas, as quais converteriam a matéria orgânica presente nesse reservatório para  $\text{NO}_3^-$ , com posterior fluxo do mesmo para as águas subterrâneas rasas do Aquífero Dunas. O  $\text{NO}_3^-$  armazenado nas águas desse aquífero seria em seguida conduzido para o Aquífero Barreiras via drenança vertical descendente, ou mesmo através do fluxo das águas contaminadas do Aquífero Dunas em direção a SW (Fig. 4), lateralmente ao nível confinante/semiconfinante (unidade Barreiras superior).

A pluma de contaminação detectada na região de Pirangi mostra uma migração em direção a NE entre as estações de verão (fevereiro/2000) e inverno (agosto/2000). Tal migração estaria relacionada ao fluxo d’água subterrâneo do Aquífero Barreiras na região de Pirangi para NE, em direção ao mar.

## CONCLUSÕES

A contaminação das águas subterrâneas armazenadas nos sedimentos do Grupo Barreiras da área estudada mostrou-se intimamente relacionada com a estrutura hidrogeológica.

Na região de Ponta Negra, o sistema hidráulico foi caracterizado como do tipo livre, fazendo com que as águas subterrâneas estejam sendo constantemente renovadas e com teores de  $\text{NO}_3^-$  sempre inferiores ao VMP. As maiores concentrações de  $\text{NO}_3^-$  foram observadas no setor NE desse bairro ( $\pm 8 \text{ mg/L N-NO}_3^-$ ), as quais são o resultado do transporte desse contaminante pelo fluxo d’água subterrâneo para esse setor.

Na região de Pirangi foram distinguidos dois sistemas hidráulicos distintos: Aquífero Barreiras, semiconfinado, profundo; Aquífero Dunas, livre, do tipo suspenso, raso. O Aquífero Dunas funciona como um “reservatório subterrâneo de esgotos”, já que todo o esgoto gerado no bairro de Pirangi é disposto no meio insaturado em fossas e sumidouros. Considerando-se



que o meio insaturado do Aquífero Dunas é raso (2 – 5 m), o conjunto formado pela grande disponibilidade de oxigênio nesse meio e uma fonte de energia (esgotos) criaria um ambiente propício à proliferação de bactérias aeróbicas nitrificadoras, que degradariam a matéria orgânica presente em tais esgotos para  $\text{NO}_3^-$ , o qual seria em seguida conduzido para o Aquífero Barreiras através de drenança vertical descendente e/ou fluxo das águas do Aquífero Dunas lateralmente ao aquífero, contaminando as águas do Aquífero Barreiras.

Trabalhos futuros são necessários para a compreensão mais detalhada dos mecanismos de contaminação, visando à proposição de medidas de remediação/controlado da contaminação das águas subterrâneas por  $\text{NO}_3^-$  na cidade de Natal.

## AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN) pelo suporte financeiro, na pessoa do Geólogo Marcelo Augusto de Queiroz, e ao Programa de Pesquisa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), pelo apoio logístico.

## REFERÊNCIAS

- ACQUA-PLAN, 1988 – Avaliação das possibilidades de infiltração de efluentes domésticos no aquífero Dunas na área de Natal, RN. Estudos, Projetos e Consultoria, Recife – PE, 121p.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA) & WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). 1998. Standar methods for the examination of water and wastewater. 20 ed. Washing ton : APHA., 1v.
- CARVALHO JR., E.R. 2001 – Contaminação das águas subterrâneas por nitrato e sua relação com a estrutura hidrogeológica nos bairros de Pirangi e Ponta Negra, Natal/RN. Dissertação de Mestrado, PPGeo – UFRN. Natal, RN, 170p.
- CLARK, I. & FRITZ, P. 1997 – Environmental isotopes in hydrogeology. New York. Lewis Publishers, 328p.
- IPT, 1982 – Reconhecimento hidrogeológico e estudo sobre a qualidade atual das águas subterrâneas da grande Natal. São Paulo – SP. 2v. (Relatório IPT n° 14.813).
- MANAHAN, S. E. 1994. Environmental Chemistry. 6 ed. New York : Lewis Publishers, 811p.
- MELO, J. G., 1995 – Impactos do desenvolvimento urbano nas águas subterrâneas de Natal/RN. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências – USP. São Paulo, SP, 196p.
- MELO, J.G., QUEIROZ, M.A., HUNZIKER, J. 1998 – Mecanismos e fontes de contaminação das águas subterrâneas de Natal/RN por nitrato. In: ABAS, Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 10, São Paulo, Anais, CD-ROM.
- PLANAT, 1983 – Estudo hidrogeológico da região metropolitana de Natal. Planejamento em Recursos Naturais (PLANAT), Recife – PE. CAERN, Relatório Final, Natal, RN, 180p.