

A MIGRAÇÃO DE CONSTITUINTES IÔNICOS NO AQUÍFERO BARREIRAS NA REGIÃO SUL DE NATAL-RN, DECORRENTE DO QUADRO ESTRUTURAL LOCAL - UMA HIPÓTESE DE TRABALHO

Leandson Roberto F. de LUCENA¹
Ernani Francisco da ROSA FILHO¹
André Virmond Lima BITTENCOURT¹
Jorge Xavier MONTAÑO²

RESUMO

A contaminação de aquíferos porosos decorrente de águas residuais urbanas não tratadas e do uso de fertilizantes constitui-se num fator cada vez mais preocupante, sendo motivo de diversos estudos ao longo das últimas décadas. Tal tendência deve-se a expansão de áreas urbanas não saneadas e a crescente demanda na produção de alimentos, além da própria necessidade de preservação da qualidade dos mananciais subterrâneos. Contudo, esses estudos dizem respeito costumeiramente a contaminações *in situ* dessa natureza. No presente artigo é abordado a eventual migração de constituintes iônicos no meio saturado em subsuperfície, proporcionado pelo quadro estrutural local em terrenos sedimentares cenozóicos. Este processo migratório pode ser resultado, dentre outros aspectos, do fluxo subterrâneo estruturalmente controlado e variações bruscas de espessuras saturadas, somado à disposição de cotas potenciométricas favoráveis no terreno. Neste caso, alguns constituintes iônicos, particularmente nitrogênio e potássio, que atingirem o aquífero podem adquirir uma razoável mobilidade e eventualmente alcançarem áreas teoricamente com baixo risco de contaminação por uma dessas atividades humanas. Exemplos dessa interação entre o contexto estrutural e o hidrogeoquímico vem sendo alvo de pesquisas no Aquífero Barreiras na área sul de Natal/RN-Brasil.

Palavras-chave: Contaminação, Aquífero Barreiras, contexto estrutural.

ABSTRACT

The contamination of porous aquifers arising from *in-natura* urban sewage and the usage of fertilizers is a reason of concern of several studies in the last decades. Such concern is due to the expansion of urban areas with no sewage system, the increasing demand for food production and besides that, the need to preserve the quality of the underground water resources. The studies so far mainly investigate the *in situ* contamination of these underground resources. In the present paper, we investigate the eventual migration of ionic constitutors in the saturated porous underground porous media, which is structurally controlled in sedimentary terrains. This migration process can be a result of: structurally controlled underground flow and abrupt variations of the saturated thickness, together with favourable piezometric height of the terrain. In this case, due to human activities, some ionic constitutors can have a reasonable high mobility and may eventually reach areas thought to be of low risk of contamination. Examples of this structural-hydrochemical interaction are now the target of researchs in the Barreiras Aquifer, in NE Brazil.

KEY-WORDS: contamination, Barreiras Aquifer, structural context

¹ Universidade Federal do Paraná (UFPR)/ Curitiba-PR, Brasil; ernani@ufpr.br

² Universidad de la Republica Oriental Del Uruguay (UDELAR)

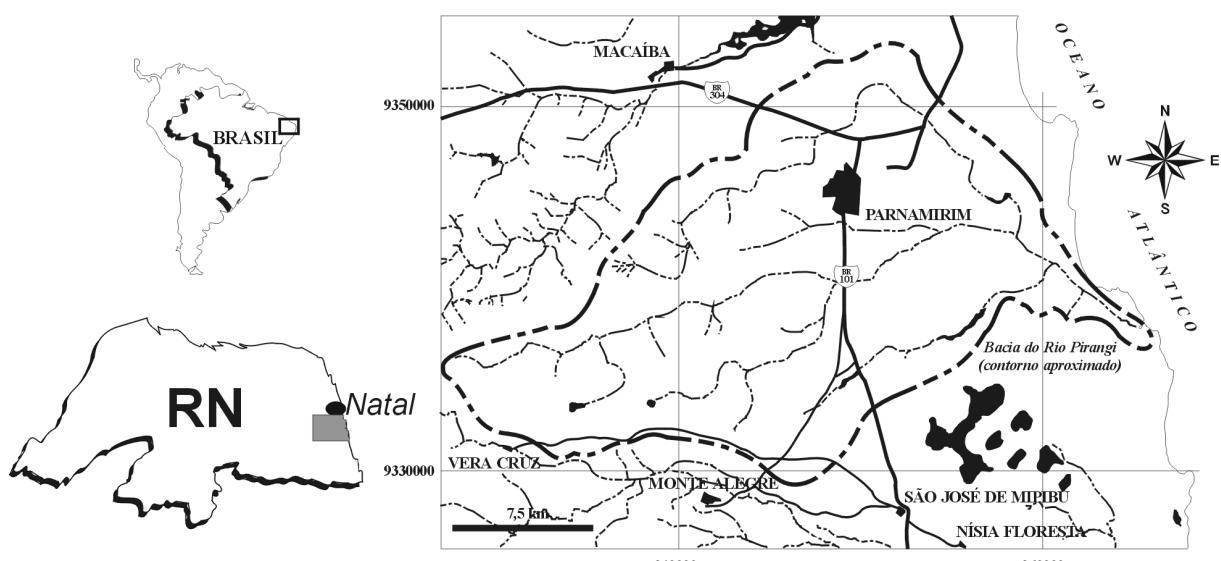
INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Estudos envolvendo relações entre os contextos hidrogeológicos e estruturais, sobretudo em terrenos sedimentares mesozóicos e cenozóicos, ainda representam uma linha de pesquisa recente nestas duas ciências. Contudo, algumas publicações foram efetuadas nesta área, tais como aqueles de LUCENA & QUEIROZ (1996), LUCENA *et al.* (1999) e LUCENA *et al.* (2002), além de outros trabalhos desenvolvidos no Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte-PPGG/UFRN e no Laboratório de Pesquisas Hidrogeológicas da Universidade Federal do Paraná-LPH/UFPR. Estes estudos mostram a alteração do parâmetro "transmissividade hidráulica" em áreas adjacentes, decorrente principalmente de variações bruscas de espessuras saturadas

provocadas por falhamentos, além do condicionamento estrutural de fluxos subterrâneos. Por outro lado, o conhecimento de possíveis influências desta mesma estruturação no meio hidrogeoquímico é insípido, ou mesmo inexistente.

Dessa forma, o presente trabalho comprehende uma síntese de estudos preliminares sobre as influências de uma estruturação cenozóica regional no contexto hidrogeoquímico, tomando-se como exemplo a ocorrência e provável migração de constituintes iônicos no Aquífero Cenozóico Barreiras. A região ora estudada situa-se a sul da cidade de Natal-RN, litoral leste do Estado do Rio Grande do Norte-Brasil, abrangendo o setor oriental da bacia do Rio Pirangi e envolvendo parte dos municípios de Parnamirim, Nísia Floresta e São José de Mipibu-RN (figura 1).

Figura 1 – Localização da área

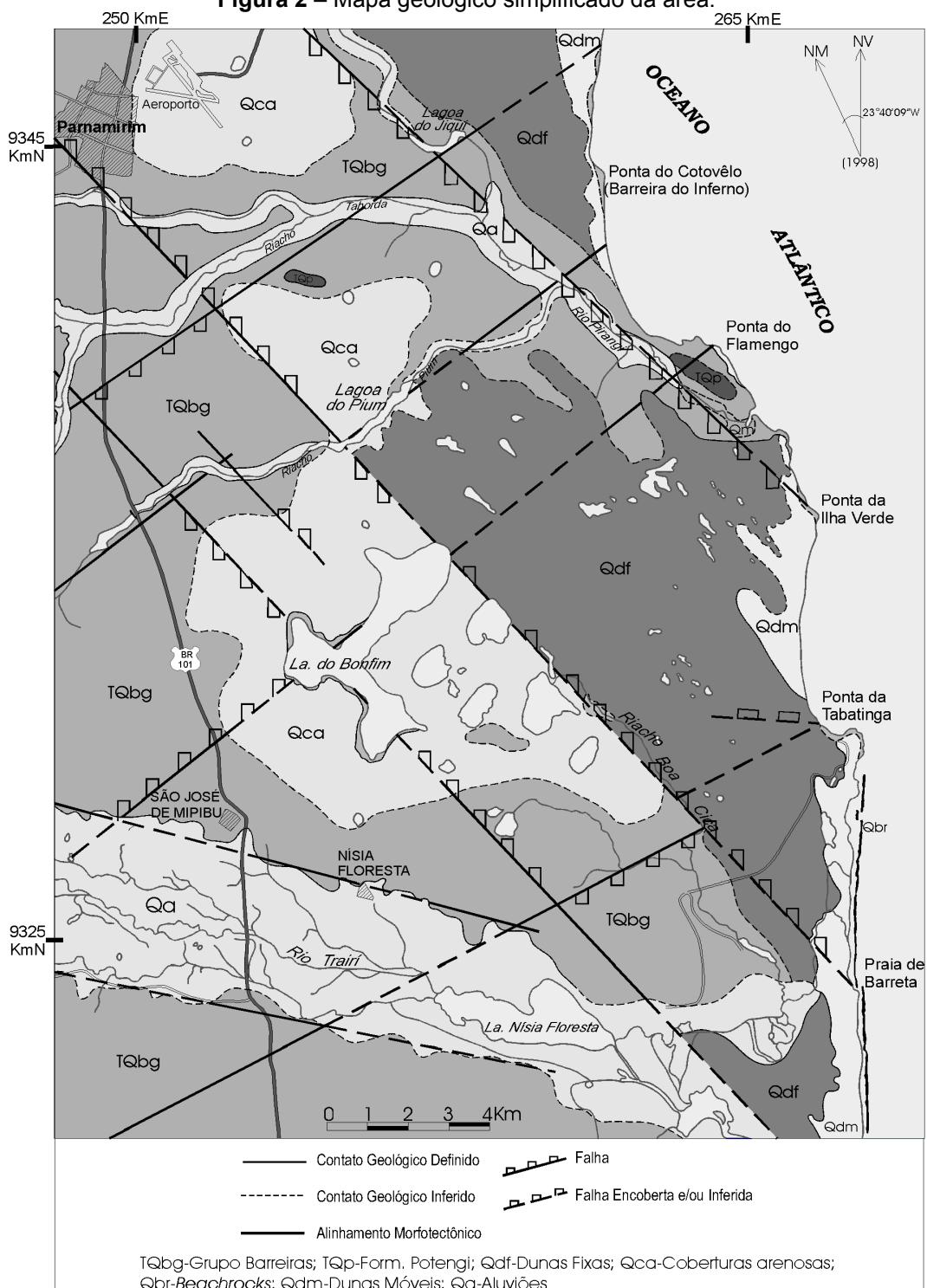


O CONTEXTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

A geologia da área é constituída estratigraficamente pelo embasamento cristalino Pré-cambriano, sotoposto a sedimentos cretácicos (este constituído por uma seqüência arenítica basal e outra carbonática no topo) e capeados por unidades cenozóicas, na qual apenas estas últimas são aflorantes. Dentre estas unidades cenozóicas, destacam-se o Grupo Barreiras (de idade Terciária-Quaternária) e toda a sedimentação quaternária, composta por diversas gerações de dunas, coberturas arenosas, bem como sedimentos praiais e

aluvionares. O arcabouço tectono-estrutural é formado por uma complexa estruturação regional (BEZERRA *et al.*, 1993; LUCENA & QUEIROZ, 1996; CORIOLANO *et al.*, 1998), caracterizada em três direções principais: NW, NE e E-W, aproximadamente, além de uma quarta direção, menos expressiva e não individualizada em escala de mapa, com orientação geral N-S (figura 2). Estas direções estruturais foram denominadas de alinhamentos morfotectônicos ou mesmo falhamentos, quando possível a quantificação de rejeitos e/ou feições apropriadas no terreno.

Figura 2 – Mapa geológico simplificado da área.



O contexto hidrogeológico alvo do presente estudo é representado pelo Aquífero Barreiras. Este último, de caráter local livre a semi-confinado, é responsável pelo abastecimento da maioria das cidades da faixa litorânea oriental do Estado, incluindo a capital Natal. Apresenta-se, sob o ponto de vista litológico, bastante heterogêneo, envolvendo desde arenitos pouco argilosos a conglomeráticos, até argilas. Esta composição

diversificada, somada à variações de espessuras saturadas (geralmente decorrentes do arcabouço tectono-estrutural da área), resulta em vazões explotáveis igualmente variáveis, em geral da ordem de 5 m³/h a 100 m³/h. Outro fator que merece destaque é a ocorrência de cotas potenciométricas relativamente maiores imediatamente a norte da Lagoa do Bonfim e decrescendo no sentido da Lagoa do Pium e riacho homônimo (ver mapa da figura 2),

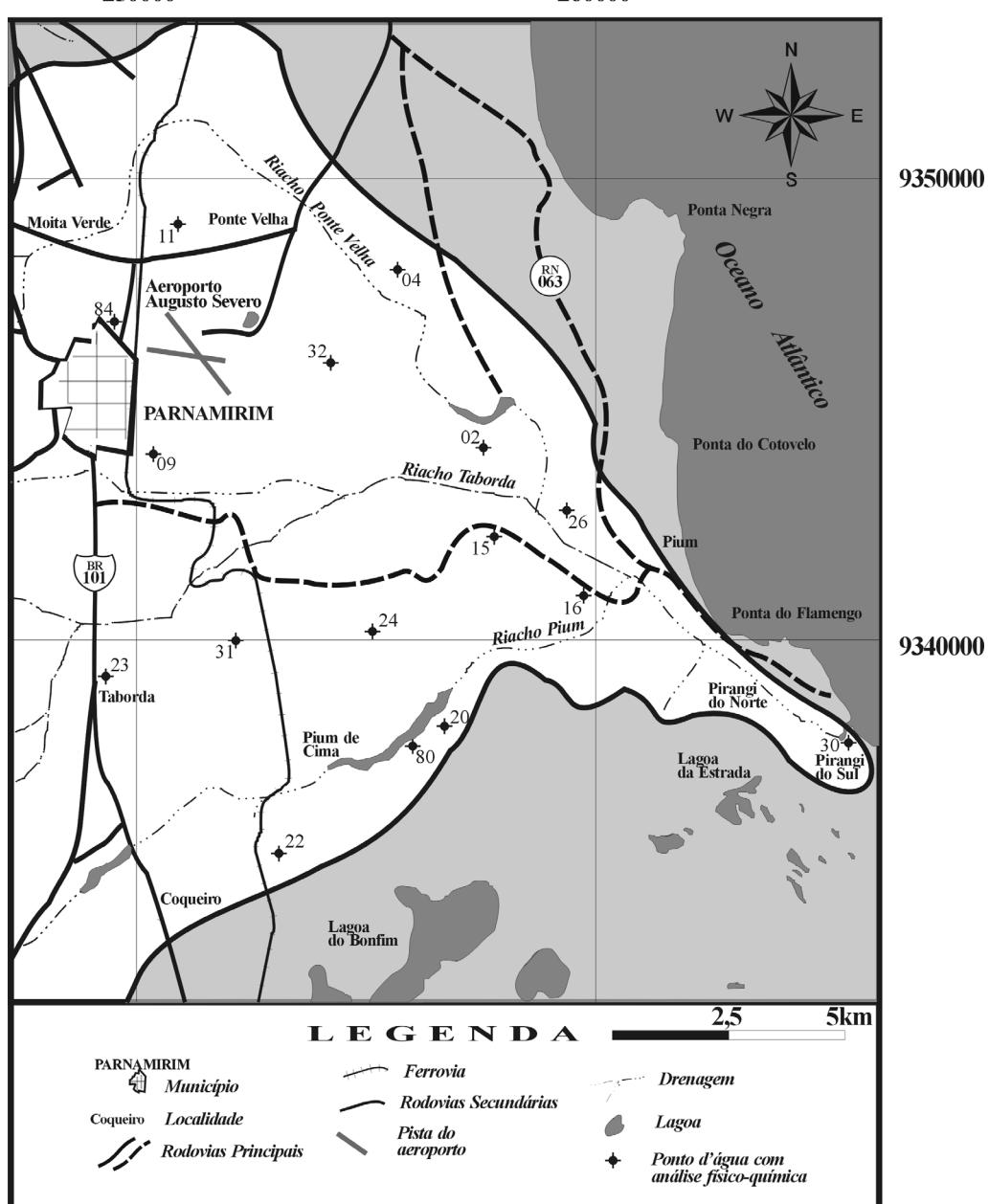
originando um fluxo subterrâneo neste mesmo sentido (LUCENA et al., 2002).

METODOLOGIA GERAL

A metodologia geral de trabalho compreendeu basicamente a associação de dados relativos ao mapeamento geológico, com ênfase ao quadro estrutural local, o mapa de condutividade elétrica do Aqüífero Barreiras e análises físico-químicas de poços em que se buscou evidenciar, dentre outros parâmetros, os respectivos teores de nitrato e potássio. A escolha de tais elementos deve-se ao fato deles estarem associados à contaminação da água subterrânea por atividade humana e/ou práticas

agrárias (uso de fertilizantes), possibilitando o uso dos mesmos como "marcadores" no presente estudo. Com relação a estas análises físico-químicas, foi efetuada uma amostragem em 16 poços tubulares do Aqüífero Barreiras, espacialmente bem distribuídos e inseridos no setor oriental da bacia do Rio Pirangi (figura 3). Tais amostras foram coletadas após um bombeamento dos respectivos poços por um período mínimo de cerca de 15 minutos, com vistas à obtenção de dados representativos do manancial subterrâneo, em que se minimizou a coleta de águas estagnadas e/ou contaminadas no interior das captações.

Figura 3 – Localização dos poços, inseridos no setor oriental da bacia do Rio Pirangi, com coleta de amostras para análise físico-química.



Os resultados analíticos, em relação a teores de nitrato e potássio dos poços

apresentados na figura 3, são mostrados na tabela 1.

Tabela 1 – Teores de nitrato e potássio para amostras coletadas em poços tubulares, inseridos no setor oriental da bacia do Rio Pirangi.

| Elementos analisados | POÇOS TUBULARES (Nº DE REFERÊNCIA) | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 20 | 31 | 32 | 09 | 84 | 26 | 16 | 15 | 24 | 22 | 23 | 11 | 04 | 02 | 80 | 30 |
| Nitrato (mg/L N-NO ₃ ⁻) | 0,05 | 0,19 | 0,56 | 4,31 | 6,19 | 3,14 | 3,28 | 1,85 | 0,01 | 0,33 | 0,29 | 1,33 | 0,69 | 5,02 | 0,00 | 0,00 |
| Potássio (mg/L K ⁺) | 0,83 | 5,38 | 0,83 | 6,64 | 5,77 | 0,42 | 0,50 | 0,42 | 0,50 | 0,42 | 3,33 | 0,83 | 0,83 | 5,77 | 4,17 | 2,92 |

O MAPA DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO AQÜÍFERO BARREIRAS

O parâmetro condutividade elétrica é amplamente utilizado na hidrogeologia, estando diretamente relacionado com as variações da mineralização das águas subterrâneas, a temperaturas constantes. Em outras palavras, a condutividade elétrica evidencia o maior ou menor grau de concentração de sais dissolvidos sob forma de íons na água subterrânea, associada costumeiramente ao padrão de qualidade deste manancial.

Os pontos levantados são apresentados na forma de um mapa de isolinhas, sendo este resultado da interpolação dos dados de campo através do software *Surfer for Windows* (figura 4). O equipamento utilizado nas medições de campo foi um condutivímetro modelo HI933300 da Hanna Instruments, o qual já fornece valores corrigidos de acordo com a temperatura da amostra.

Os resultados obtidos com a interpolação dos dados de campo, adotado um “background” de 60 µS/cm, revelam a ocorrência de algumas anomalias relativas, aqui interpretadas como indícios de uma tendência à poluição local do aquífero. Tais anomalias são de caráter pontual, não perfazendo extensas superfícies, exceto a área da sede municipal de Parnamirim. Esta última, está associada com as condições pouco satisfatórias de esgotamento sanitário, em face da disposição de esgotos em sistemas de fossas sépticas e sumidouros. Outro aspecto a se considerar é a deposição de resíduos sólidos diretamente em “lixões” sobre o solo, com partículas contaminantes atingindo as camadas aquíferas pela lixiviação de poluentes. Já os valores anômalos situados a sul de Parnamirim podem ser resultado da migração de sais dissolvidos provenientes da referida sede municipal, tendo em vista a presença de linhas de fluxo subterrâneas nesse sentido, conforme dados preliminares da potenciometria da região. A continuação desta mesma superfície anômala, localizada a leste-nordeste da localidade de

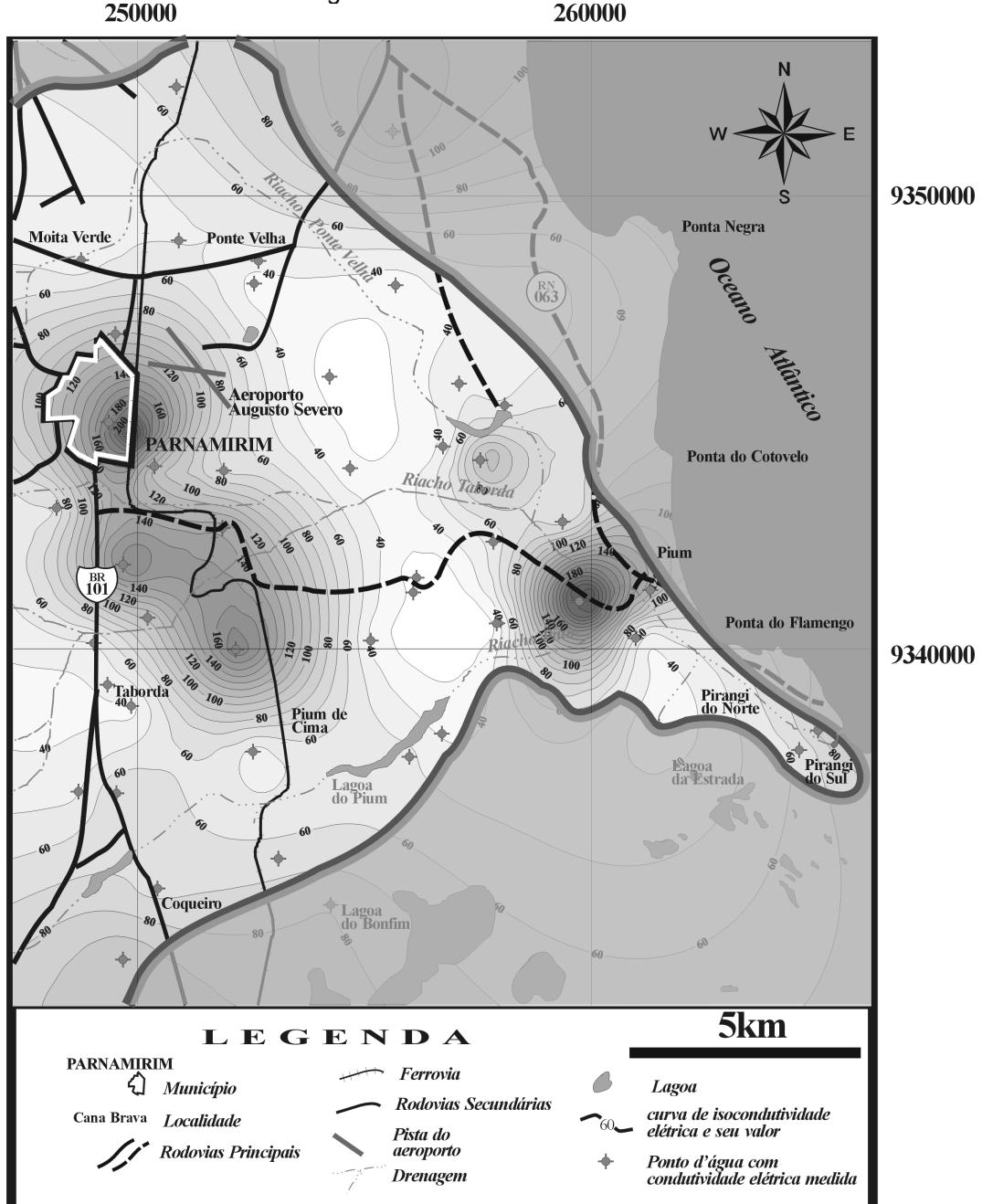
Taborda, por sua vez, sugere a influência de alguns perímetros irrigados para atividades agrárias nas proximidades das margens esquerda e direita da Lagoa do Pium e norte da Lagoa do Bonfim. É notório o uso local de fertilizantes de natureza química, face à maior disponibilidade e menor preço no mercado. Somado a este fato, LUCENA et al. (2002) caracterizou linhas de fluxo subterrâneas a partir do sistema lacustre do Bonfim, no sentido norte até a margem direita do Riacho Taborda e já no âmbito da bacia do Rio Pirangi, o que explicaria a migração de íons que teriam atingido a zona saturada nas áreas irrigadas.

Em outros dois pontos do mapa destacam-se anomalias pontuais de razoável amplitude relativa, da ordem de 240 µS/cm e 110 µS/cm. A primeira, localiza-se na confluência dos riachos Pium e Taborda e deve estar relacionada também com o adensamento populacional local, refletido a ausência de um sistema adequado de esgotamento sanitário, a exemplo da sede municipal de Parnamirim. A segunda anomalia localiza-se na margem direita da Lagoa do Jiqui, na altura da base física da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte-EMPARN, devendo estar associada a práticas agrárias. Esta área também recebe constantes adubações, sobretudo de natureza química, destinadas aos campos de produção de mudas e de desenvolvimento de árvores frutíferas das pesquisas agropecuárias desta empresa. A irrigação, por sua vez, é realizada por poços e adutoras provenientes da referida lagoa. Portanto, tal anomalia é resultado da percolação de alguns desses componentes até o meio saturado, contribuindo para o aumento da salinidade local desse manancial. Um outro dado que vem a colaborar com esta hipótese diz respeito à análise físico-química da água de um dos poços da EMPARN (número de referência 2, na tabela 1 do presente documento), o qual apresenta o segundo maior índice de nitrato (5,02 mg/L) e potássio (5,77 mg/L) dentre os 16 poços amostrados no setor leste da bacia do Rio

Pirangi. O nitrogênio, normalmente revelado nas águas subterrâneas na forma de nitrato (NO_3^-), além do potássio, constituem-se em dois dos principais nutrientes exigidos pelas culturas e presentes nos fertilizantes. As amostras referentes aos poços 09, 84, 26 e 16 (tabela 1), com concentrações de nitrato ($\text{N}-\text{NO}_3^-$) de 4,31, 6,19, 3,14 e 3,28 mg/L, respectivamente, acham-

se diretamente associadas com águas residuais urbanas, uma vez que tais captações encontram-se inseridas nas proximidades do centro de Parnamirim e localidade de Pium. Já os teores de potássio dos poços 31 e 80 (5,38 e 4,17 mg/L, respectivamente) estão associados com o uso de fertilizantes, a exemplo da anomalia da base física da EMPARN.

Figura 4 – Mapa de condutividade elétrica do Aqüífero Barreiras no setor oriental da bacia do Rio Pirangi.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em linhas gerais, sabe-se que a migração de eventuais elementos contaminantes em subsuperfície é governada basicamente pela advecção e dispersão, que dão razão do

movimento e diluição do contaminante ou soluto (MORAIS, 1996). Outros fatores tais como o tipo de aqüífero, parâmetros hidrodinâmicos, geologia do terreno e as próprias características químicas das águas subterrâneas e dos

poluentes, exercem forte influência nesse processo. Somado a isso, os mecanismos pelos quais os elementos ou contaminantes passam a fazer parte do fluxo subterrâneo e, por conseguinte, ficam submetidos a este, são igualmente preponderantes em toda esta ação migratória.

Nesse contexto, e excetuando-se as demais influências de estruturas frágeis em aquíferos costeiros (Lucena *et al*, 1999), a estruturação regional exerce sua parcela de contribuição na migração de elementos ou contaminantes em subsuperfície através do controle estrutural do fluxo subterrâneo. A este último aspecto, reportado nos trabalhos de Lucena *et al* (1999) e Lucena *et al* (2002), pode-se imputar o decréscimo ou mesmo incremento, no caso de uma convergência local do fluxo, da concentração de determinado elemento/contaminante. Vale ressaltar ainda que a heterogeneidade do aquífero resulta em diferentes velocidades no movimento da água subterrânea e nos elementos nela contidos, já que envolve a ocorrência/alternância de locais de alta e baixa condutividade hidráulica. Tal parâmetro, por sua vez, possui proporção inversa à espessura saturada local, estando assim suscetível a variações bruscas desta mesma espessura, ocasionada por falhamentos.

Com base na análise do mapa de condutividade elétrica do Aquífero Barreiras no setor oriental da bacia do Rio Pirangi (figura 4), os valores relativos elevados observados a norte e nordeste da localidade de Taborda mostram-se como candidatos em potencial da migração de elementos contaminantes em subsuperfície. Conforme já reportado, esta abrangente "superfície" de condutividade elétrica das águas do Aquífero Barreiras não pode ser explicada pela simples lixiviação/infiltração de águas residuais não tratadas, seja de esgotos domésticos, seja de origem industrial ou da atividade agropecuária. Tal afirmação deve-se à baixa densidade populacional local, principalmente a leste de Taborda, bem como a ausência de indústrias e/ou grandes áreas agricultáveis (ressaltando-se aqui o uso de fertilizantes e agrotóxicos/pesticidas). Por outro lado, tem-se a ocorrência dos perímetros irrigados nas proximidades de Pium de Cima, nas margens esquerda e direita da Lagoa do Pium, além da área situada imediatamente à norte-noroeste da Lagoa do Bonfim. Tais áreas possuiriam, dessa forma, uma tendência periódica à contaminação decorrente do uso de agrotóxicos/pesticidas e principalmente de fertilizantes.

Sobrepondo-se informações preliminares da potenciometria local e do arcabouço estrutural do setor oriental da bacia do Rio Pirangi ao

mapa de condutividade elétrica da figura 4, reforça-se a hipótese de migração de elementos contaminantes em subsuperfície decorrente de fluxos subterrâneos estruturalmente controlados. A espessura saturada relativamente menor ocasiona uma maior condutividade hidráulica, enquanto que uma espessura saturada relativamente maior (neste caso, proporcionada por falhas locais) aumenta a área de uma frente de escoamento e consequentemente do meio físico para o transporte em subsuperfície. O aumento do valor da condutividade hidráulica, por sua vez, proporciona uma redução no tempo de chegada de determinado elemento contaminante conservativo a um ponto adjacente ao foco pontual da contaminação considerada. A interação destes fatores, somado à presença de uma zona de recarga do Aquífero Barreiras na área da bacia do Rio Pirangi proveniente do sistema lacustre do Bonfim (Lucena *et al*, 2002), compatibiliza com a ocorrência de anomalias de condutividade elétrica do aquífero na localidade de Taborda. Esta anomalia, sob esta hipótese, é resultado da migração de elementos em subsuperfície, após estes terem atingido o aquífero nas citadas áreas de perímetros irrigados, como decorrência do uso de fertilizantes e agrotóxicos/pesticidas. Neste contexto, a análise referente ao poço de número 2, na EMPARN (ver tabela 1), confirma uma tendência a contaminação *in situ* do aquífero por parte destas práticas agrárias, enquanto que os poços 31 e 80 exemplificam a hipótese acima reportada, sobretudo pelos teores relativamente elevados de potássio.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

O mapa de condutividade elétrica das águas do Aquífero Barreiras revelara valores da ordem de 40 a 270 $\mu\text{S}/\text{cm}$, onde se definiu um "background" de 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A partir desta observação, algumas anomalias relativas foram individualizadas e associadas ao aumento de salinidade, decorrente da infiltração de águas residuais urbanas e práticas agrárias.

A hipótese de trabalho envolvendo a influência da estruturação regional no contexto hidrogeoquímico local, apesar de ainda especulativa e de carecer de uma maior quantidade de dados, é respaldada preliminarmente na análise conjunta de informações já disponíveis como parâmetros físico-químicos, o mapa de condutividade elétrica do aquífero, informações iniciais da potenciometria da área e do arcabouço estrutural regional. Dentro desta nova linha de pesquisa e à título de sugestão para futuros trabalhos na área em questão, pode-se vislumbrar uma reavaliação e detalhamento do mapa de

condutividade elétrica do aqüífero. Outros fatores importantes seriam a elaboração de mapas de distribuição de alguns componentes dissolvidos, notoriamente aqueles presentes nas formulações químicas dos principais fertilizantes e agrotóxicos utilizados na região, bem como o

confronto com análises físico-químicas completas em poços situados sobre a área da referida anomalia de condutividade e dos perímetros irrigados das lagoas do Bonfim (à norte desta) e Pium.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEZERRA, F. H. R.; LUCENA, L. R. F. DE; SAAD, A.; MOREIRA, J. A. M.; LINS, F. A. P. L.; NOGUEIRA, A. M. B.; MACEDO, J. W. P.; NAZARÉ JR. D. Estruturação neotectônica do litoral de Natal-RN, com base na correlação entre dados geológicos, geomorfológicos e gravimétricos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, IV. 1993, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte-MG. SBG, Núcleo MG. Bol. 12: p. 317-321.
- CORIOLANO, A.C.F.; LUCENA, L.R.F.; JARDIM DE SÁ, E.F.; SAADI, A. A deformação quaternária no litoral oriental do Rio Grande do Norte. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, VIII. Lençóis, 1997. **Anais...** Lençóis-BA, SBG. P. 67-70.
- LUCENA, L.R.F.; OLIVEIRA, S.K.; MEDEIROS, W.E. Condicionamento estrutural sobre o Aqüífero Barreiras e Sistema Lacustre do Bonfim, Nísia Floresta-RN. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRASILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY, VI. Rio de Janeiro, 1999. **Anais em CD...** Rio de Janeiro-RJ, SBGf.
- LUCENA, L.R.F. & QUEIROZ, M.A. Considerações sobre as influências de uma tectônica cenozóica na pesquisa e prospecção de recursos hídricos - o exemplo do litoral sul de Natal-RN, Brasil. **Revista Águas Subterrâneas**, ABAS. Vol. 1, nº 15: 81-88, 1996.
- LUCENA, L.R.F.; ROSA FILHO, E.F.; HINDI, E.C. O fator estrutural atuante na conexão hidráulica subterrânea entre o sistema lacustre do Bonfim e a bacia do Rio Pirangi, litoral leste do Rio Grande do Norte. **Revista Águas Subterrâneas**, ABAS. Nº 16: 69-75, 2002
- MORAIS, J.O. Geologia no planejamento ambiental: impactos na água. **Revista de Geologia**. Vol. 8: 225-258, 1996.