

# A INTEGRAÇÃO DE DADOS HIDROGEOLÓGICOS, HIDROGEOQUÍMICOS E DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE NATAL/RN COMO INDICADOR DOS RECURSOS HÍDRICOS EXPLOTÁVEIS

**José Geraldo de Melo<sup>1</sup> & Marcelo Augusto de Queiroz<sup>2</sup>**

**Resumo** - O suprimento hídrico da cidade de Natal é feito principalmente por águas subterrâneas armazenadas no sistema aquífero dunas/Barreiras. O volume d'água bombeado é de  $68,8 \times 10^6$  de  $m^3$ , que corresponde a 60% dos recursos anuais renováveis, avaliados em  $116 \times 10^6$  de  $m^3$ . A recarga do sistema aquífero se processa diretamente pelas precipitações pluviométricas, além de uma parcela de recarga provenientes de vazamentos na rede de adução d'água e por descargas de fossas e sumidouros. A análise hidrogeoquímica sugeriu uma possível ocorrência de fluxos locais, intermediários e regionais, em função das diferentes fácies hidroquímicas, o que contribuiu para a concepção do modelo do fluxo subterrâneo. As águas subterrâneas estão sendo afetadas pelas atividades do desenvolvimento urbano, notadamente pelo sistema de saneamento com a disposição local de efluentes e pelo processo de impermeabilização do terreno. Áreas expressivas da cidade já estão contaminadas por nitratos oriundo da biodegradação dos excrementos humanos provenientes do sistema de fossas e sumidouros. Os efeitos da impermeabilização já se fazem notar, tanto pela redução nas taxas de recarga como pelo favorecimento ao desenvolvimento do processo de contaminação. Estas atividades impactantes estão reduzindo a oferta d'água potável para o suprimento hídrico da cidade de Natal.

**Palavras-chave** - Aquífero, hidroquímica, contaminação.

---

<sup>1</sup> Departamento de Geologia-UFRN. Campus Universitário, Lagoa Nova-CEP59072970-Telefone: (084) 2319809-Fax: 084) 2319749-Natal-RN-Brasil. E-mail: [jgmelo@ufrnet.ufrn.br](mailto:jgmelo@ufrnet.ufrn.br).

<sup>2</sup> Companhia de Águas e Esgotos do R.G.N. Av. Senador Salgado Filho, 1555, Tirol-CEP:59056000-Telefone: (084)2214236-Fax: (084)2113190-Natal-RN-Brasil

## INTRODUÇÃO

A área de Natal considerada neste trabalho abrange as Zonas Norte e Sul, cuja superfície é da ordem de 165 km<sup>2</sup>. Ver figura 1. A maior parte do município de Natal é urbanizado e a população da cidade se aproxima dos 800000 habitantes. A área está situada na faixa costeira leste do Estado, a qual é conhecida como “Região dos Vales Úmidos”, denominação esta devido a ocorrência de rios perenes e pela elevadas precipitações pluviométricas, que são em média de 1500mm anuais. O relevo é caracterizado pela formação de bacias fechadas, ocorrência de lagoas e elevações dunares, que oferecem à área peculiaridades importantes na recarga e armazenamento das águas subterrâneas. A Grande Natal compreende o município de Natal e parte dos municípios de Extremoz, São Gonçalo do Amarante, Macaíba e Parnamirim, ocupando uma superfície da ordem de 450 km<sup>2</sup>.

Geologicamente, a área está situada na bacia sedimentar costeira leste do Estado do Rio Grande do Norte e é composta por sedimentos terció-quaternários do Grupo Barreiras que estão sobrepostos a rochas carbonáticas cretácicas e, em grande parte, recobertos por dunas. Litologicamente, os sedimentos Barreiras são formados por arenitos finos e argilosos na parte superior dos perfis e arenitos mais grosseiros na parte inferior. As dunas são areias finas, homogêneas e esbranquiçadas. As margens do rios, ocorrem aluviões, que são clásticos finos e grossos, com níveis argilosos.

As águas subterrâneas constituem a principal fonte de suprimento hídrico da população: 65% da população de Natal é abastecida com águas subterrâneas e 35% com águas das lagoas de Jiqui e Extremoz, estas localizadas na periferia da cidade. Considerando as zonas Norte e Sul referidas, verifica-se o seguinte: **Zona Sul:** 75% do suprimento é feito com águas subterrâneas e 25% com águas da Lagoa de Jiqui; **Zona Norte:** 30% do abastecimento com águas subterrâneas e 70% com águas da Lagoa de Extremoz. As demais cidades da Grande Natal são totalmente abastecidas com águas subterrâneas. Estas águas apresentam excelente qualidade em suas condições naturais, sem restrições ao uso humano. São de fácil captação, dispensam o tratamento químico, e, portanto, são de baixo custo. Uma outra grande vantagem, que merece ser ressaltada é que as águas subterrâneas tem resistido às secas satisfatoriamente, sem que estas tenham afetado os sistemas de captação d'água. É, incontestavelmente, a alternativa mais segura e viável no suprimento hídrico da população com água potável.

O uso de águas subterrâneas no suprimento hídrico de Natal data do final do século passado, através da captação em cacimbões. Os primeiros poços tubulares foram

construídos no início do século XX. Atualmente o sistema público de abastecimento d'água é composto de 136 poços tubulares, que se agrupam em unidades de captação.

O primeiro estudo hidrogeológico realizado na Região de Natal foi de autoria da empresa CONTEGE (1970), no qual ficou caracterizada a existência de duas unidades aquíferas: um aquífero livre superior, formado por dunas e um aquífero inferior, semi-confinado, formado pelos sedimentos do Grupo Barreiras. O IPT (1982) executou estudos hidrogeológicos e de qualidade das águas na Região de Natal. Este trabalho, como no caso anterior, admite a existência de duas unidades aquíferas independentes. É apresentada, também, informações sobre poços que estariam contaminados por nitrato. A contaminação foi considerada pontual e atribuída a má construção dos poços de captação. A PLANAT (1983), fez avaliações das reservas permanentes e reguladoras do aquífero, sugerindo um recursos explotável da ordem de 46 milhões de m<sup>3</sup> para o aquífero Barreiras na Região Metropolitana de Natal. A AQUA-PLAN (1988), admitiu a existências dos aquíferos dunas e Barreiras, porem constatou uma grande conexão hidráulica entre essas duas unidades. Foi apresentado um quadro bem mais preocupante quanto as contaminação das águas subterrâneas. Neste estudo, a contaminação ainda foi considerada pontual e como nos casos anteriores atribuída á uma cimentação inadequada dos poços de captação. Melo (1995), e Melo et al (1998), apresentaram um novo modelo hidrogeológico conceitual para explicar o mecanismo de contaminação das águas subterrâneas de Natal por nitratos. As dunas e os sedimentos Barreiras, neste caso, foram considerados como um sistema hidráulico único e em geral do tipo livre. Também, foi verificado que a contaminação por nitrato já estava se desenvolvendo em áreas extensas e a mesma foi atribuída a própria vulnerabilidade do sistema aquífero de ser afetado por cargas contaminantes de efluentes urbanos provenientes de fossas e sumidouros.

Neste artigo pretende-se mostrar a situação atual de exploração das águas subterrâneas de Natal e perspectivas para o futuro através de uma análise dos recursos explotáveis, considerando desta feita informações sobre o comportamento do fluxo subterrâneo, modificações hidrogeoquímicas e extensão da contaminação das águas subterrâneas.

## **O SISTEMA AQUÍFERO DUNAS/ BARREIRAS**

O sistema aquífero dunas/ Barreiras comportar-se em geral como um sistema livre, porém localmente pode desenvolver condições de semi-confinamento. A espessura total

dos sedimentos dunas/ Barreiras é da ordem de 90m, com espessura saturada efetiva de cerca de 40m. Ver Figura 2. É formado por sedimentos finos com níveis argilosos na parte superior dos perfis e arenitos médios a grosseiros, por vezes com cascalho, e, intercalações argilosas, nos níveis mais inferiores. Os parâmetros hidrodinâmicos obtidos para o sistema são os seguintes: Zona Sul de Natal – Condutividade hidráulica variando de  $8,5 \times 10^{-5}$  a  $3,05 \times 10^{-4}$  m/s; transmissividade de  $3,06 \times 10^{-3}$  a  $1,18 \times 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s e porosidade específica da ordem de 10%. Na Zona Norte a condutividade hidráulica variou de  $1,9 \times 10^{-5}$  a  $1,4 \times 10^{-3}$  m/s e a transmissividade, de  $1,05 \times 10^{-3}$  a  $3,0 \times 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s e porosidade específica de 10%. Observa-se, portanto, que há uma similaridade entre os parâmetros hidrogeológicos, especificamente a transmissividade e a porosidade específica.

A alimentação do sistema aquífero se processa em sua maior parte diretamente pelas precipitações pluviométricas e com uma parcela da recarga proveniente dos sistema urbano, tais como vazamentos nas tubulações de adução de água e os dispositivos de fossas e sumidouros. Segundo Simmers et al (1997), estes tipos de fontes são referidos em contribuir em quase 40% do total da recarga urbana em Riyadh (Arábia Saudita), 30% em Bermuda e 20% em Doha (Qatar). Através da análise do fluxo subterrâneo, dados sobre variações sazonais do nível potenciométrico e sobre os parâmetros hidráulicos do sistema aquífero, foram avaliadas as potencialidades de águas subterrâneas conforme a seguir:

Zona Sul : reservas totais de 400 milhões de m<sup>3</sup> e recursos explotáveis de 70 milhões de m<sup>3</sup>/ano; Zona Norte: reservas totais de 292 milhões de m<sup>3</sup> e recursos explotáveis de 46 milhões de m<sup>3</sup>/ano. Nestas condições, os recursos explotáveis do sistema aquífero dunas/ Barreiras são da ordem de 116 milhões de m<sup>3</sup>. Ver figura 3 e figura 4. Atualmente é explotado por poços um volume total de 68,8 milhões de m<sup>3</sup>, que constitui o recurso disponível, havendo um saldo de 47,2 milhões de m<sup>3</sup> de água que poderá ser disponibilizado. A captação d'água é feita através de 136 poços que estão agrupados em unidades de captação.

No caso da Grande Natal, que abrange uma superfície da ordem de 450 km<sup>2</sup>, os recursos explotáveis foram avaliados em 280 milhões de m<sup>3</sup>/ano (Melo & Queiroz, 1996), o que a primeira vista coloca a população de Natal em condições privilegiadas em termos de suprimento hídrico com água potável. Estas informações são, entretanto, indicativas de ordem de grandeza, já que foram baseadas em dados obtidos no domínio do município de Natal.

## **ASPECTOS HIDROGEOQUÍMICOS**

### **RESULTADOS DE ANÁLISES QUÍMICAS**

A avaliação dos resultados de análises químicas de 275 amostras d'água provenientes de poços tubulares, cacimbões e fontes (Melo, 1995) no domínio da Zona sul de Natal permitem verificar que as águas são em geral ácidas, com pH da ordem de 5,3; de baixa salinidade, condutibilidade elétrica em média de 198,14 microS/cm e cloreto de 30,79mg/l. O teor de nitrato, no caso dos poços tubulares profundos é, em média, de 40,54 mg/l e no caso dos cacimbões, a média encontrada foi de 15,25 mg/l. Os teores elevados de nitrato, como será discutido mais adiante, é resultado da contaminação pelo sistema de saneamento da cidade de Natal com a disposição local dos efluentes domésticos. Os cacimbões amostrados situam-se em geral na periferia da cidade, em áreas ainda não afetadas pelo efluentes domésticos, razão pelo qual as águas dos mesmos revelaram teores inferiores com relação aos poços tubulares, em geral localizados em áreas mais habitadas do domínio urbano.

A tabela a seguir apresenta os resultados das análises químicas completas de águas de uma amostragem em 36 poços tubulares selecionados, cujos valores médios dos elementos determinados estão resumidos em termos de parâmetros estatísticos. Observa-se que os resultados estão coerentes com àqueles das análises químicas parciais, apesar de algumas variações, com a ocorrência de águas ácidas e de baixa salinidade.

A dureza total é, em média, de 41,24 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , cujos valores variam de 9,32 a 110,88 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ . No geral, portanto, são águas brandas com alguns casos de águas duras. O baixo pH das águas, conforme apresentado, condiciona a ausência de ions carbonatos, e, por conseguinte, alcalinidades do tipo TA nulas e do tipo TAC equivalentes àquelas atribuídas aos ions bicarbonatos. A alcalinidade TAC varia de 0,00 a 99,96 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , com média de 10,80 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ .

**Parâmetros estatísticos de dados hidroquímicos de águas de poços tubulares da Zona Sul de Natal (1995)**

Parâmetros	n° de amostras	média x (mg/l)	desvio padrão (mg/l)	coeficiente de variação	variação (mg/l)
pH (adm.)	36	5,44	0,72	0,13	4,00-7,00
Condutividade Elétrica ( S/Cm)	36	24,84	134,44	0,60	56,00-570,00
Sólidos totais	36	165	96,64	0,59	44,40-402,80
Dureza	36	41,24	27,24	0,66	9,32-110,88
Sódio	36	22,47	14,42	0,64	7,00-66,66
Potássio	36	2,50	1,67	0,67	0,49-7,14
Cálcio	36	7,05	7,15	1,01	0,75-24,62
Magnésio	36	5,65	4,37	0,77	0,90-21,50
Ferro	25	0,44	0,23	0,52	0,12-1,12
Cloreto	36	28,35	14,00	0,49	10,59-56,47
Sulfato	36	1,22	2,45	2,01	0,00-13,33
Bicarbonato	36	23,30	29,04	1,25	0,00-121,95
Nitrato	36	48,68	38,90	0,80	1,21-160,79
Alcalinidade (mg/l de CaCO <sub>3</sub> )	35	10,80	-	-	0,00-99,96
Dureza total (mg/l de CaCO <sub>3</sub> )	35	41,24	-	-	9,32-110,88

## MODIFICAÇÕES HIDROGEOQUÍMICAS

Os cátions e os ânions principais das análises químicas completas das águas, tanto dos resultados obtidos no âmbito deste trabalho, como de dados já existentes (ACQUA-PLAN, 1988), foram plotados no diagrama triangular de PIPER em unidades percentuais de meq/l, o que permitiu a identificação de tipos hidroquímicos. Foram incluídos os dados dos íons principais e associação de íons de águas de uma lagoa, de poços rasos (incluindo cacimbões e piezômetros) e de poços tubulares e piezômetros profundos. A maioria das águas ficam agrupadas em áreas bem definidas, permitindo a identificação de águas bicarbonatadas cálcicas e águas cloretadas e/ ou nitradas cloretadas.

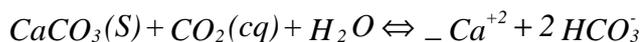
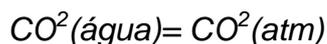
As águas do tipo bicarbonatadas cálcicas foram obtidas de cacimbões, piezômetros rasos e de uma lagoa (ressurgência de água subterrânea), portanto são representativas de águas subterrâneas rasas (até cerca de 30m de profundidade). As águas cloretadas sódicas são águas mais profundas. Estas, foram bombeadas de poços tubulares que geralmente apresentam profundidades superiores a 70m. Observando o triângulo dos cátions no diagrama triangular verificou-se que há uma mudança de bases com a profundidade, o cátion cálcio passando para o alcalino sódio. Com relação aos ânions, o bicarbonato é substituído pelo cloreto, devido provavelmente da maior solubilidade deste íon em profundidade e ou sob influência de fluxos regionais.

O comportamento dos alcalinos pode ser melhor avaliado através do índice de troca de bases (ITb), obtido pela expressão:

$$ITb = \frac{rCl - r(Na+K)}{rCl} \quad r = \text{meq/l.}$$

Os índices de troca de bases obtidos foram em geral negativos, sugerindo que há a transferência de alcalinos do terreno para a água através do processo de dissolução. Alguns valores já se mostram muito próximo de zero indicando um certo equilíbrio dos componentes da água com o terreno nas quais circulam.

De acordo com IPT (1982), as águas de chuva da área de Natal são do tipo cloretada-sódica, o que é perfeitamente justificável, devido a influência do mar através dos aerossóis, cujos íons dominantes são o ânion cloreto e o cátion sódio. Assim sendo, estas águas até atingirem o nível das águas subterrâneas sofrem modificações hidroquímicas, que as transformam em águas bicarbonatadas cálcicas. Isto ocorre, provavelmente, devido ao aporte de  $\text{CO}_2^-$  da atmosfera e do  $\text{CO}_2^-$  produzido pela respiração dos microorganismos, com o conseqüente enriquecimento das águas em íons  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{Ca}^{2+}$ , conforme reação a seguir:



Um modelo teórico do fluxo subterrâneo em associação com os tipos hidroquímicos é apresentado na figura 5, na qual pode ser observado que as águas bicarbonatadas cálcicas são representativas de águas de fluxos localizados e intermediários e as águas cloretadas podem estar associadas a fluxos regionais.

De acordo com Loyd & Heathcote (1985), as águas subterrâneas com dominância de bicarbonatos e cálcio, frequentemente indicam águas de recarga em arenitos e calcários, enquanto as águas com cloreto e sódio dominantes indicam águas de circulação profunda ou de zonas de descarga.

A presença do íon nitrato como ânion dominante na maioria das águas, está relacionada ao processo de contaminação que será discutido mais adiante.

## AGRESSIVIDADE DAS ÁGUAS

O "índice de saturação" de uma água revela a tendência desta água em precipitar carbonato de cálcio (incrustação) ou em dissolver carbonato de cálcio (corrosão). Através deste parâmetro fica então caracterizado a agressividade, neutralidade e incrustabilidade de uma água. O índice de saturação é expresso por:

$$I_L = pH - pH_s, \text{ onde:}$$

$I_L$  = índice de saturação ou índice de Langelier.

pH = pH medido na amostra

$pH_s$  = pH de saturação ou de equilíbrio

Se  $I_L > 0$ , a água está em condições de precipitar carbonato de cálcio.

$I_L = 0$ , a água está em equilíbrio  $CaCO_3-H_2O-CO_2$

$I_L < 0$ , se a água é agressiva.

O pH de equilíbrio foi obtido utilizando o diagrama de Hoover-Langelier através do conhecimento da temperatura, resíduo seco ou sólidos totais dissolvidos, concentração de cálcio e alcalinidade. Verificou-se que as águas são em geral são corrosivas (agressivas). Não foram identificadas águas incrustantes.

Esta é a razão pela qual os poços construídos na área de Natal com filtros de ferro galvanizado apresentam vida útil relativamente baixa. O primeiro sinal que o poço está

sendo afetado pela corrosão da água e a presença de areia ou do próprio cascalho (prefiltro) nas águas bombeadas, seguido de queda da produtividade. Atualmente, os poços do Sistema Público de Abastecimento são construídos com filtros de aço inoxidável e tubos de PVC aditivados, resistentes às ações corrosivas das águas. Devido ao custo relativamente elevado dos filtros de aço inoxidável, os poços particulares são projetados e construídos com filtros de PVC, que são de custos relativamente mais baixos que os de aço inoxidável, embora muito menos eficientes.

### **ASPECTOS RELATIVOS À CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

As águas subterrâneas de Natal estão sendo afetadas por atividades do desenvolvimento urbano. Entre as mais impactantes destaca-se o sistema de saneamento com disposição local de efluentes e o processo de impermeabilização do terreno com obras de engenharia.

O sistema de saneamento tem sido responsável pela contaminação das águas subterrâneas de Natal por nitratos. Os estudos realizados (Melo, 1995 e Melo, 1998) mostram que áreas expressivas da zona urbana já estão contaminadas, com teores de nitrato superiores aos padrões recomendados pela OMS, que é de 45 mg/l. Os teores de nitrato tem se mostrado crescente ao longo do tempo, o que se verifica até mesmo no domínio das áreas já saneadas (25% do domínio urbano dispõe de rede de esgotamento sanitário), sugerindo que a contaminação por nitrato é um processo cumulativo e provavelmente irreversível. Alguns poços do Sistema público de Abastecimento d'água estão contaminados, porém, a água distribuída à população é de boa qualidade, já que estas são resultado da mistura às águas da Lagoa de Jiqui e Extremoz, atingindo com a diluição níveis satisfatórios de utilização.

O processo de impermeabilização dos terrenos pode estar afetando as águas subterrâneas tanto quantitativamente como qualitativamente. No primeiro caso, devido a provável redução do volume d'água infiltrado pela diminuição da área de recarga. Há, também, abaixamento da superfície potenciométrica, afetando por conseguinte o padrão do fluxo subterrâneo. Isto, aliado ao fato de que volumes expressivos de água são bombeados para o suprimento da população, leva à tona a preocupação quanto aos riscos de intrusão de água do mar. O segundo caso justifica-se pelo fato de que reduzindo o volume d'água infiltrado, diminui o volume d'água para lixiviação dos solos e diluição das águas contaminadas. A influência da ocupação e impermeabilização do terreno nas águas subterrâneas foi observada por Melo(1995), na Zona Sul da cidade de Natal.

Verificou-se que o nível d'água dos poços situados nas zonas mais habitadas e pavimentadas reage mais lentamente e com menos intensidade com a ocorrência das chuvas do que o nível de poços situados na periferia da cidade, onde a taxa de ocupação e impermeabilização é reduzida

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O sistema aquífero Dunas/Barreiras, em geral, comporta-se como um sistema do tipo livre e assim sendo, o seu nível potenciométrico flutua com as variações sazonais. As suas potencialidades estão condicionadas à infiltração direta das águas de chuva nas dunas cujo volume efetivamente infiltrado restitui as reservas de águas subterrâneas que se perdem nos escoamentos naturais e exploração por poços. Existe, também, uma parcela da recarga proveniente dos sistema urbano, tais como vazamentos nas tubulações de adução de água e os dispositivos de fossas e sumidouros. Não se tem conhecimento deste percentual de recarga, há porém, referência de casos em que esta contribuição é expressiva. Os recursos anuais explotáveis do reservatório hídrico subterrâneo foram avaliados em 116 milhões de m<sup>3</sup> ( 70 milhões na Zona Sul de Natal e 46 milhões de m<sup>3</sup> na Zona Norte), volume este compatível com taxas de infiltração da ordem de 40%. Esta elevada taxa de infiltração de explica pela cobertura de dunas e em parte pela configuração morfológica do terreno (bacias fechadas), além, evidentemente, da conexão hidráulica das dunas com os sedimentos Barreiras.

Na Zona Sul de Natal é retirado um volume anual de água de cerca de 60 milhões de m<sup>3</sup> para o abastecimento da população, que corresponde a aproximadamente 87% dos recursos definidos como explotáveis. A captação d'água é feita através de 92 poços que estão agrupados em unidades de captação. Todo o volume d'água bombeado do aquífero é repostado a cada ano. Nos períodos de estiagem (seca) o nível potenciométrico do aquífero tem sido rebaixado de forma acentuada, porém não o suficiente para afetar as captações, o que mostra que nas condições atuais o sistema está sendo explotado dentro dos limites de suas potencialidades.

As águas do sistema hidrogeológico de Natal passam por modificações hidroquímicas durante o seu trajeto, o que permitem a seguinte caracterização: as águas de chuva são cloretadas sódicas; as águas subterrâneas pouco profundas são bicarbonatadas cálcicas e as águas subterrâneas profundas são cloretadas sódicas. Existe uma mudança de bases com a profundidade: o cátion cálcio mudando para o

alcalino sódio. Com relação aos ânions, o bicarbonato é substituído pelo cloreto, sob influência provavelmente da maior solubilidade deste íon em profundidade.

Fazendo uma analogia destas particularidades hidrogeoquímicas com o fluxo subterrâneo leva-se a admitir que as águas bicarbonatadas cálcicas são características dos fluxos localizados e ou intermediários, enquanto que as águas subterrâneas cloretadas sódicas podem estar associadas ao fluxo regional.

As águas subterrâneas de Natal estão sendo afetadas pelas atividades do desenvolvimento urbano, notadamente pelo sistema de saneamento com disposição local de efluentes e pelo processo de ocupação e impermeabilização do terreno. Áreas expressivas da cidade já estão contaminadas por nitrato oriundo da biodegradação dos excrementos humanos provenientes dos sistemas de fossa e sumidouros. A contaminação ocorre mais expressivamente nas zonas da cidade de maior densidade populacional. As áreas pouco ou não habitadas com águas subterrâneas afetadas por nitrato estão associadas a potencialização do fluxo subterrâneo oriundo de áreas contaminadas. O teor de nitrato é também elevado nas áreas já saneadas e isto provavelmente ocorre pelo fato de que a contaminação deve ter ocorrido antes da instalação da rede de esgotos. A ocupação e impermeabilização do terreno nestas áreas reduzem as taxas de recarga, diminuem o volume d'água para lixiviação dos solos afetados e diluição das águas subterrâneas contaminadas. A contaminação das águas subterrâneas por nitrato é crescente ao longo do tempo, o que constitui uma ameaça ao abastecimento d'água da cidade de Natal com água potável. Vários poços públicos tem sido abandonados, devido ao teor elevado de nitrato nas suas águas.

É necessário a adoção de medidas que impeçam a continuidade do processo de degradação das águas subterrâneas. Entre estas medidas assinala-se a implementação de uma rede de esgotos, priorizando áreas que possam garantir o suprimento hídrico da população com água potável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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 il..
- FETTER, C. W., 1988- **APPLIED Hydrogeology**. Third Edition.University of Wisconsin o Oshkosh. Prentice Hall, Uper Saddle River, New Jersey 07458.
- IPT, 1982-**Reconhecimento hidrogeológico e estudo sobre a qualidade atual da águas subterrâneas da Grande Natal**. São Paulo, SP. 2v (Relatório IPT 14.813).
- MELO, J. G., 1995 - **Impactos do desenvolvimento urbano nas águas subterrâneas de Natal / RN- Tese de Doutorado**. - USP, São Paulo, SP, 196 p.
- MELO, J. G., 1996 – **Desenvolvimento dos recursos hídricos subterrâneos da Região da Grande Natal**, RN. Seminário: Água potável para Grandes Metrôpoles. Arquivo eletrônico 5, p 39-49, Belo Horizonte, MG.
- MELO, J. G., 1988– **Avaliação dos riscos de contaminação e proteção das águas subterrâneas de Natal–Zona Norte**. Companhia de Águas e Esgotos do RGN (CAERN), Natal, RN. Relatório interno, 130 p.
- MELO, J. G.; QUEIROZ, M. A, HUNZIKER, J., 1998 – **Mecanismos e Fontes de Contaminação das Águas Subterrâneas de Natal/ RN por Nitrato**. Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 9º, Arquivo eletrônico, 10p, São Paulo, SP.
- MELO, J.G. e QUEIROZ, M. A., 1998 – **Situação Atual da Exploração das águas Subterrâneas da Região da Grande Natal-RN**. Congresso Latino Americano de Hidrologia Subterrânea, 4º, Anais – p 585-601. Montevideú, Uruguai.
- PLANAT, 1983-**Estudo hidrogeológico da área Metropolitana de Natal**. Planejamento em Recursos Naturais, Recife, Pe. Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN), Rel. Final, Natal, 180 p.
- SIMMERS, I.,1997-**Recharge of phreatic aquifers in semi-arid areas**. International Association of Hydrogeologists 19. A A Balkema/ Rotterdam/ Brookfield.

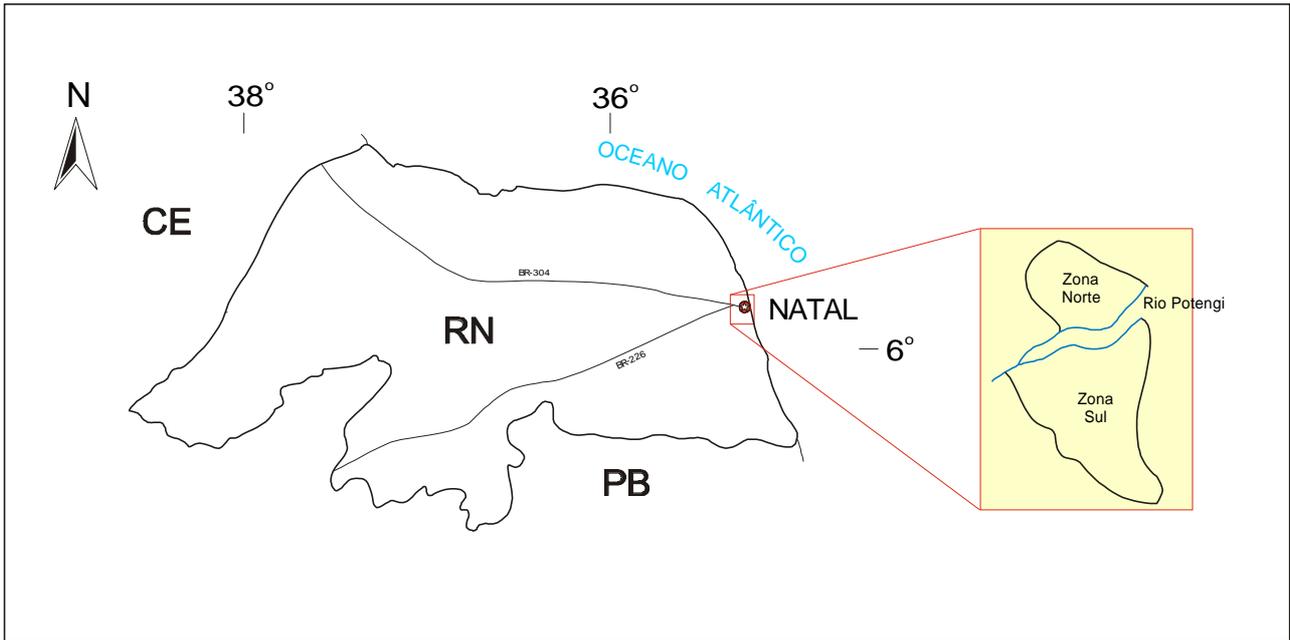


Fig. 1. Localização da Área

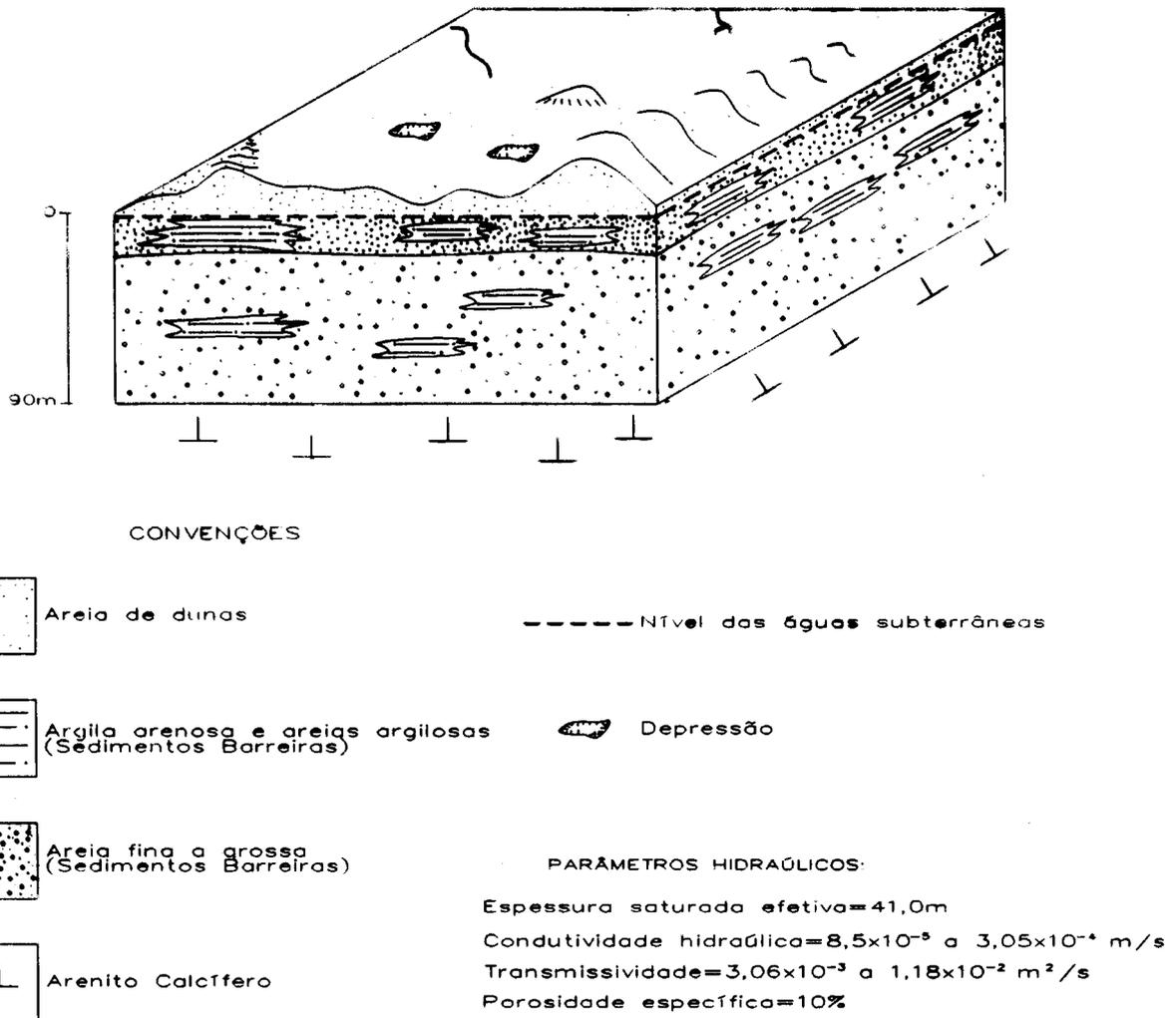
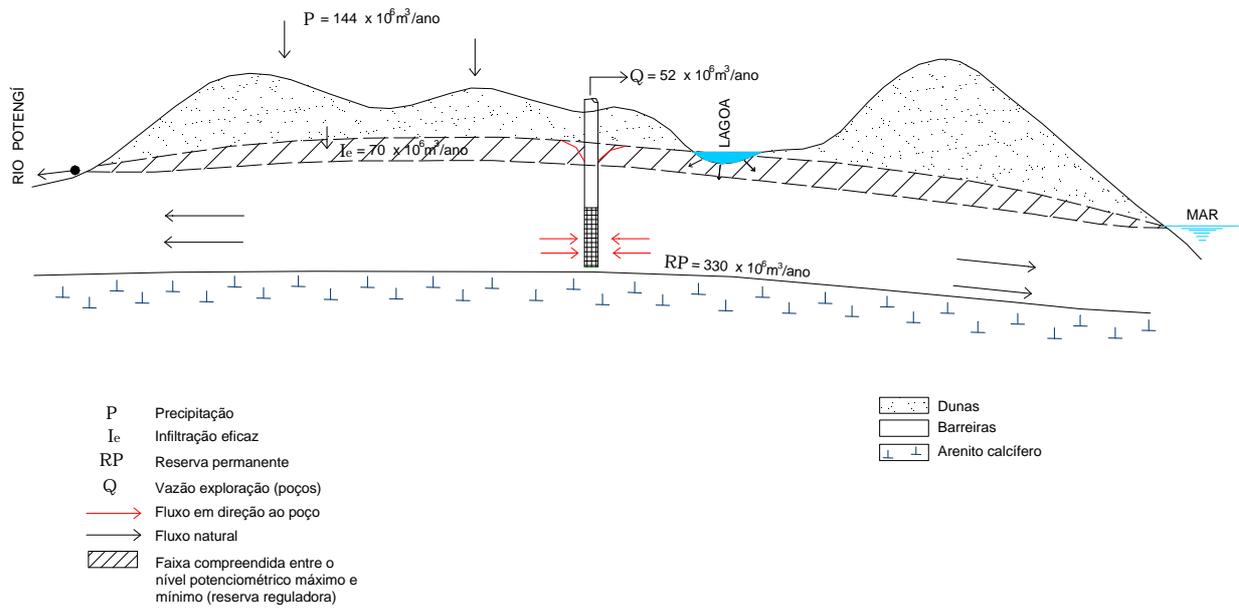
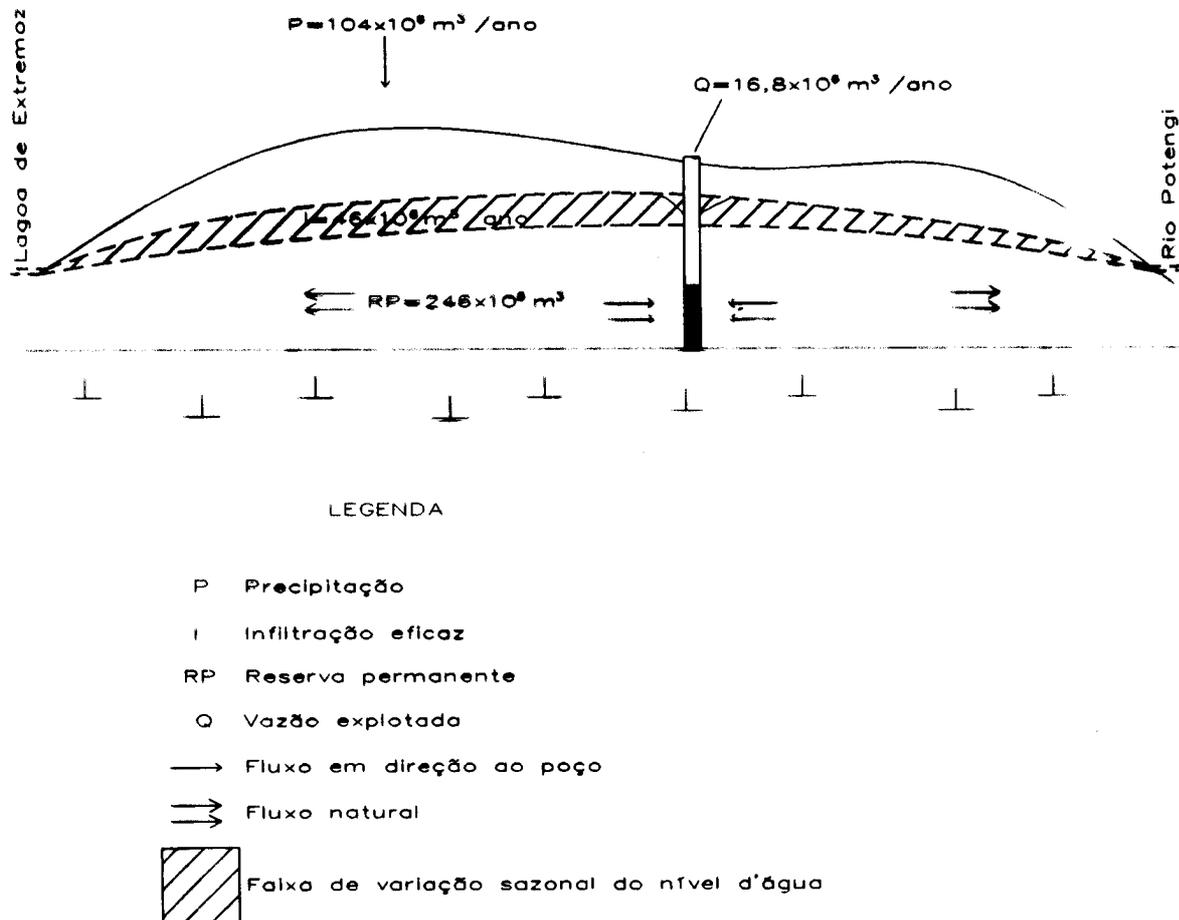


Fig. 2. Sistema Aquífero Dunas/Barreiras

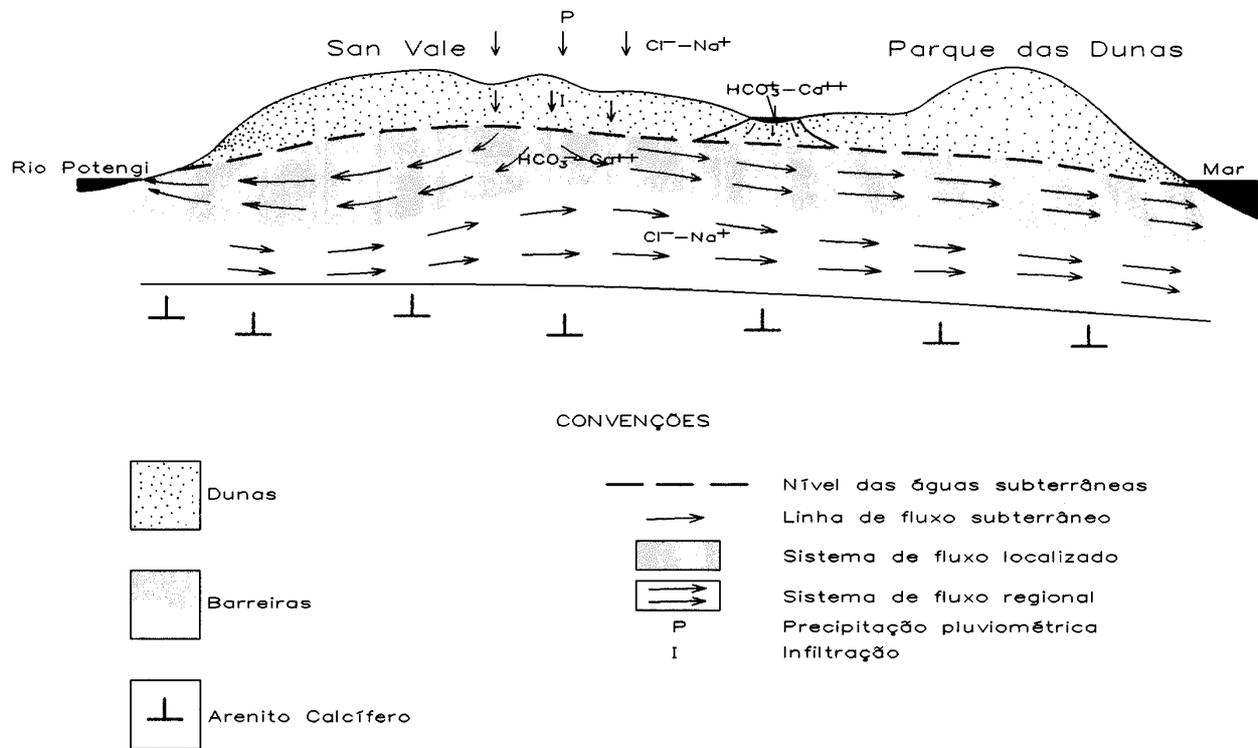


Melo (1995)

**Fig. 3.** Funcionamento hidráulico do sistema aquífero dunas/Barreiras-Zona Sul/Natal



**Fig. 4.** Funcionamento hidráulico do sistema aquífero dunas/Barreiras-Zona Norte/Natal



**Fig. 5.** Modelo teórico do fluxo subterrâneo e comportamento hidrogeoquímico