

O MEIO NÃO SATURADO E OS RISCOS DE POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA ZONA LESTE DA CIDADE DE NATAL - RN

João Manoel Filho¹
Vera Lúcia Lopes de Castro²
Elmo Marinho Figueiredo³

Resumo: A origem e o mecanismo de poluição das águas subterrâneas do aquífero freático, por excesso de nitrato, no setor leste da cidade de Natal, onde se encontra o chamado lixão da Prefeitura, foi investigada por Castro (1994). São apontadas evidências de que o nitrato atinge a zona de saturação através de captações de água subterrânea com proteção sanitária deficiente e a partir delas se espalha pelo aquífero, não somente na zona leste mas em outros pontos da região de Natal, sendo essa a principal causa de poluição do freático. Analisando com mais detalhe a questão do transporte desse poluente, através da zona não saturada, o presente trabalho confirma que até agora não há indícios de poluição do aquífero produzida por esse mecanismo no lixão e que os riscos, mesmo no futuro, são provavelmente mínimos, uma vez que a profundidade do freático é da ordem de 30 m.

PALAVRAS CHAVE: Aquífero, Zona de Aeração, Poluição, Natal.

INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas do sistema aquífero Dunas-Barreiras, que se desenvolve na região da Grande Natal - RN, são muito importantes como fonte de suprimento hídrico, respondendo por cerca de 40% do volume fornecido para o abastecimento d'água da Capital. A exploração dessas águas é feita por meio de poços tubulares profundos pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN) e também, de forma desordenada, a nível individual, por meio de cacimbas escavadas por uma parte da população.

Médias pluviométricas anuais relativamente altas (da ordem de 1500 mm), associadas a uma cobertura arenosa de origem eólica bastante homogênea e permeável, garantem periodicamente a recarga natural do sistema aquífero, cujas águas, desde os primórdios das explorações há mais de 30 anos, sempre se revelaram de excelente qualidade para consumo humano, com teores de sólidos totais inferiores a 500 mg/l.

Por volta do início da década de 80, alguns focos isolados de poluição de águas subterrâneas foram detectados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), em estudo realizado para a CAERN na região de Natal. Trabalhos mais recentes, CAERN/ACQUA-PLAN (1988), revelam que o número de poços poluídos não tem cessado de crescer. Castro (1994) delimitou um setor da ordem de 30 km², abrangendo os bairros de Cidade Nova e Felipe Camarão na zona leste de Natal (fig. 1) onde desenvolveu uma investigação relativamente detalhada da poluição do aquífero, através de monitoramentos de níveis e de qualidade da água subterrânea, numa rede de pontos

¹Professor Adjunto, Universidade Federal de Pernambuco - Dpto. Engenharia de Minas

²Geóloga, Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais do Rio Grande do Norte

³Geólogo, Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais do Rio Grande do Norte

água, incluindo também estudos de laboratório, avaliando distribuições granulométricas e porosidade, das Dunas e dos sedimentos do Grupo Barreiras.

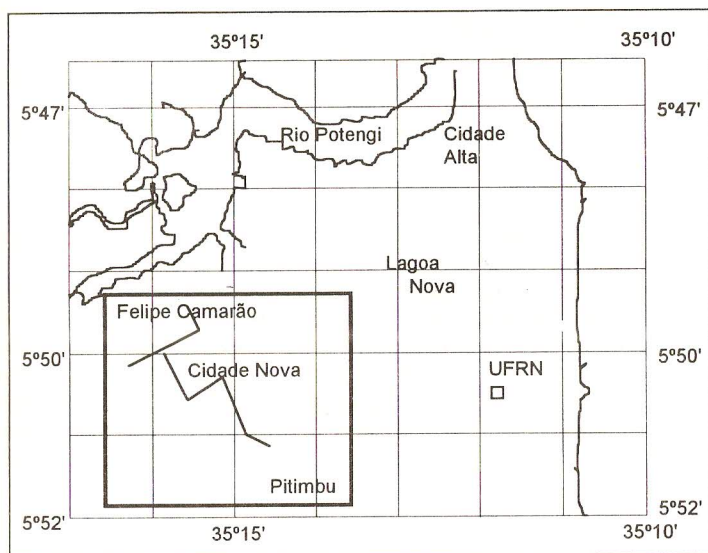


Fig. 1 - Localização da área onde se encontra o lixão da zona leste da cidade de Natal

O MEIO POROSO NÃO SATURADO NA ÁREA DO LIXÃO

Por falta de medidas de *carga de pressão capilar*, a caracterização dos parâmetros essenciais para estimar a *mobilidade* dos fluidos água-ar, envolvidos no processo de transporte de poluentes através da zona não saturada, ficou restrita às considerações teóricas e experimentais que se seguem (Touma e Vauclin, 1986, Willys e Yeh, 1987, Thanakij e Perrine, 1986).

Para fluxos isotérmicos orientados na direção vertical a generalização da lei de Darcy, envolvendo dois fluidos imiscíveis, como é o caso da água e do ar, pode ser escrita:

$$q_w = -\lambda_w \frac{\partial p_w}{\partial z} - \rho_w g \quad (1)$$

$$q_a = -\lambda_a \frac{\partial p_a}{\partial z} - \rho_a g \quad (2)$$

onde q_w e q_a são os fluxos [LT^{-1}] de água e ar respectivamente, p_w e p_a são as pressões dos fluidos [$ML^{-1}T^{-2}$], ρ_w e ρ_a suas massas específicas [ML^{-3}], g é a aceleração da gravidade [LT^{-2}] e z a coordenada vertical, com orientação positiva para baixo.

Os coeficientes λ_w e λ_a são as chamadas *mobilidades* dos fluidos, definidas por

$$\lambda_w = \frac{kk_{rw}}{\mu_w} \quad \text{e} \quad \lambda_a = \frac{kk_{ra}}{\mu_a} \quad (3)$$

onde k é a permeabilidade intrínseca [L^2] do meio poroso, k_{rw} e k_{ra} são as permeabilidades relativas dos fluidos, μ_w e μ_a os coeficientes de viscosidade dinâmica [$ML^{-1}T^{-1}$] da água e do ar respectivamente. A permeabilidade relativa de um fluido, é definida como a razão entre a permeabilidade *efetiva* (permeabilidade não saturada ao dito fluido) e a permeabilidade intrínseca do meio. No caso da água e do ar, temos:

$$k_{rw} = \frac{k_w}{k} \quad \text{e} \quad k_{ra} = \frac{k_a}{k} \quad (4)$$

Como a água e o ar são fluidos imiscíveis, existe entre eles uma diferença de pressão, chamada *pressão capilar*, expressa por

$$p_a - p_w = p_c \quad (5)$$

e por isso a altura de ascensão capilar é definida por

$$h_a - h_w = h_c \quad (6)$$

No que se refere à litologia e natureza litológica do meio não saturado, o panorama é o seguinte:

- Nas cotas mais elevadas, (84,0 metros), onde a espessura da zona não saturada atinge 60 metros, situação restrita apenas aos locais com presença de dunas, foram identificados tres tipos litológicos, segundo o perfil do poço P15. A sequência litológica é a seguinte a partir da superfície do terreno até o nível d'água: areias (Dunas), 30 metros, sedimentos inconsolidados (Fm. Potengi) 14 metros, arenito (Fm. Guararapes/Grupo Barreiras) 18 metros
- Nas cotas intermediárias, (50,0 metros), a espessura da zona não saturada é em torno de 25 a 30 metros, e a sequência litológica é a mesma, com diminuição das espessuras de areias de Dunas.
- Nas cotas mais baixas, entre 15,5 e 28,0 metros, na parte oeste da área, o meio não saturado atinge em média 8,0 metros constituindo-se apenas por arenitos da Fm. Guararapes/Grupo Barreiras. Estas espessuras tendem a diminuir mais ainda no extremo oeste (cota em torno de 2,0 metros), onde chegam a desaparecer no ponto d'água aflorante C17. A figura 2 mostra o comportamento da espessura total do meio não saturado.

Transporte do Nitrato Através da Zona não Saturada

O estudo da poluição das águas subterrâneas pelo nitrogênio, sob a forma de nitrato, que penetra no subsolo dissolvido nas águas de recarga do aquífero através da zona não saturada, é bastante complexo. Isto porque o processo de transporte envolve reações químicas associadas com o ciclo do nitrogênio, muitas das quais ocorrem na própria zona não saturada e em sedimentos que

pendem das condições do próprio ambiente e que precisam ser conhecidas *in loco*. Infelizmente nenhuma investigação direta neste sentido, foi possível no âmbito deste trabalho.

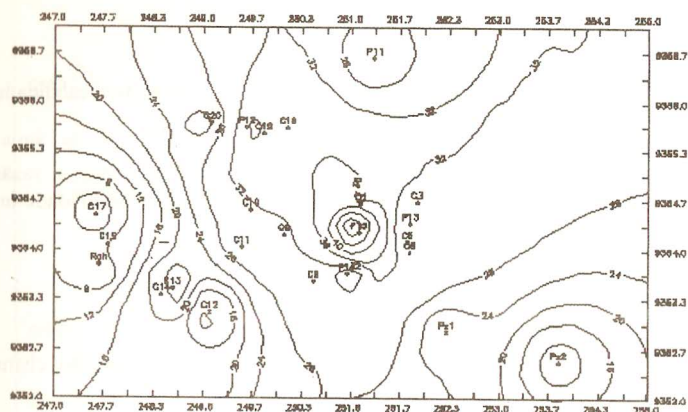


Fig. 2 - Mapa de espessura da zona não saturada

É sabido que no referido ciclo, o ion amonium NH_4^+ , pode ser formado a partir de diversos processos (amonificação, fixação do nitrogênio e redução do nitrato), e o seu transporte em solos é implicado pelo fato de que o mesmo tem carga positiva e participa em reações de trocas iônicas. Além disso é também adsorvido na superfície das partículas do solo carregadas negativamente. Tanto o amonium adsorvido quanto o livre na fase líquida, estão sujeitos a nitrificação. (McLaren, 1970 in Illys e Yeh, 1987).

As formas oxidadas NO_2^- e NO_3^- não participam de reações de trocas iônicas nem sofrem sorção. Admite-se também que a oxidação do nitrito é relativamente rápida e por isso a concentração desse constituinte pode ser considerada desprezível em qualquer ponto no solo, o que na oxidação do ion amonium e a fixação do ion nitrato as únicas reações irreversíveis a entrar na equação do transporte.

Segundo Willis e Yeh (1970), existem modelos de simulação transiente do ciclo do nitrogênio (Willis, 1971, Marino, 1976) e também modelos de simulação estacionária do nitrato (McLaren, 1970). Estes modelos no entanto perdem o significado sem dados específicos do ambiente (solo e subsolo) e permitam caracterizar as reações de transformação biológica. Existem porém evidências de que bactérias e virus oriundos de esgotos somente penetram pequenas distâncias, quando transportados na água subterrânea através de materiais granulares. (Krone, et. al. in Freeze and Cherry, 1979).

PIEZOMETRIA DA SUPERFÍCIE FREÁTICA

Verificam-se no mapa piezométrico (fig. 3), tres direções do fluxo: para noroeste e leste, com cargas no Rio Jundiaí/Potengi sob gradiente hidráulico de 2,1 m/km. Para sudoeste, com

descargas para o Riacho da Prata e com gradientes mais fortes de 12 m/km. Uma região de recarga ocorre no centro e na porção sudeste da área.

As vazões de fluxo subterrâneo para estas tres direções de descargas, foram avaliadas pela equação: $Q = K \cdot b \cdot i \cdot L$, onde K é a condutividade hidráulica de $2,1 \times 10^{-4}$ m/s; b é a espessura saturada de 37 metros, L a frente de escoamento igual a 1000 metros. As descargas avaliadas foram da ordem de $0,49 \times 10^6 m^3/ano$ nas direções noroeste e sudeste e $2,9 \times 10^6 m^3/ano$ na porção leste, resultando um total de $3,9 \times 10^6 m^3/ano$.

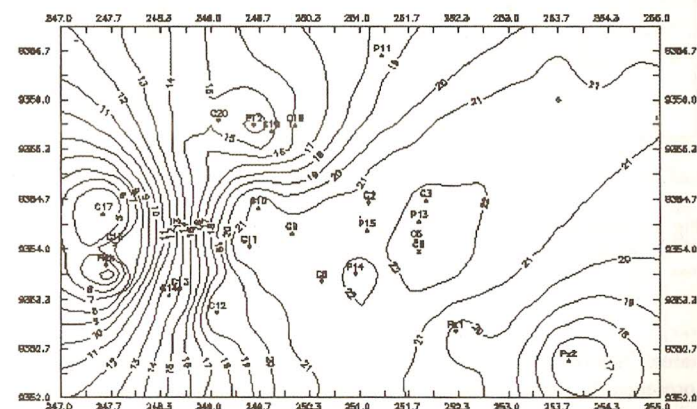


Fig. 3 - Mapa piezométrico da superfície das águas subterrâneas do aquífero livre

EVOLUÇÃO PONTUAL E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS TEORES DE NITRATO

A evolução pontual dos teores de nitrato entre agosto 1987 e abril 1994 é ilustrada na fig.4. Ela mostra que provavelmente a cacimba C3, poluída em 1987 e posteriormente abandonada, foi a responsável pela contaminação do aquífero na área, já que em todos os pontos d'água as concentrações de nitrato aumentaram daquele ano para cá. A única redução comprovada nos teores de nitrato ocorreu na cacimba C6 entre agosto e dezembro de 1993, não se sabendo se naturalmente ou em consequência de algum trabalho de limpeza.

ORIGEM E MECANISMO DA CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO

Nos estudos sobre contaminação distinguem-se dois tipos de fontes: a *dispersa*, que diz respeito às fossas sépticas, esgotos e áreas onde são usados fertilizantes, pesticidas, etc., e a *pontual*, que corresponde às unidades industriais, lagoas, lixões, áreas onde são armazenados produtos químicos, etc. Na área do lixão da zona leste de Natal, o tipo disperso é caracterizado pela existência de um grande número de fossas sépticas ou negras, de esgotos a céu aberto e de excrementos humanos e de animais. Quanto ao tipo pontual, este é representado pelo próprio lixão e por captações poluídas.

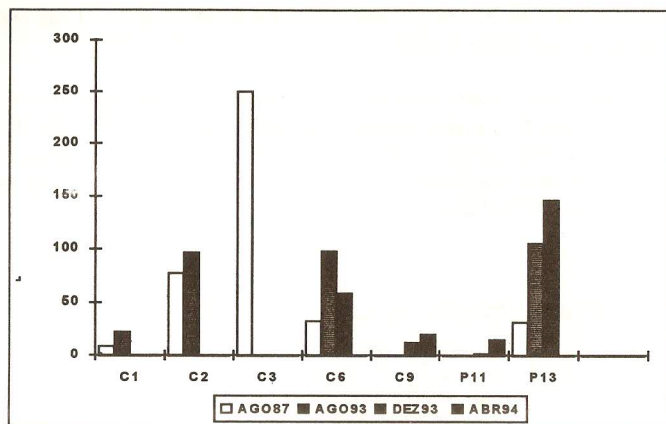


Fig. 4 - Evolução pontual dos teores de nitrato nas cacimbas e poços mais poluídos da área do lixão

O quadro atual, relativo às fontes de poluição e aos pontos d'água, revela, próximo aos poços e cacimbas, a presença de fossas cujas distâncias não ultrapassam 30 metros. Os esgotos a céu aberto são visíveis na maior parte do bairro, potencializando mais a contaminação. Comparando-se os resultados das análises químicas efetuadas durante o projeto nitrato em agosto de 1987, com aquelas efetuadas em agosto/93, constata-se que justamente nos poços e cacimbas que encontram-se mais próximos das fossas e esgotos os teores de nitrato aumentaram consideravelmente. A criação de animais, (vacas, cavalos, porcos), próximo às cacimbas, favorece um incremento no processo de contaminação, já que as fezes dos animais, são apenas cobertas por alguns centímetros de areia.

Embora os teores de nitrato em muitos pontos do aquífero ainda não tenham atingido níveis elevados, a tendência geral observada é de aumento. Essa evolução crescente se explica porque o nitrato, devido à sua forma aniônica, é bastante móvel na água subterrânea, na qual se desloca sem transformação e quase sem retardo, isto é, sem sofrer processos de retardamento (do tipo adsorção, por exemplo). Em aquíferos muito pouco profundos e permeáveis ou em zonas de rochas fraturadas, onde existe oxigênio gasoso dissolvido, o nitrato geralmente migra para grandes distâncias a partir das zonas de origem. (Freeze and Cherry, 1979). Isto sugere que as zonas ricas em oxigênio a partir das quais o nitrato está atualmente migrando deve ser constituída pelas próprias estruturas de captação contaminadas.

Portanto, diante destas descrições, verifica-se que a principal origem da contaminação é proveniente dos compostos nitrogenados, (efluentes domésticos não tratados) cuja maior concentração ocorre em cacimbas antigas, algumas delas abandonadas e outras transformadas em fossas negras. Há também poços, como é o caso do poço P13 (FRIGONAT), em cujas imediações (a menos de tres metros de distancia), existe um esgoto a céu aberto. Devido à rápida evolução da contaminação ocorrida entre agosto/87 a abril/93, supõe-se que está havendo infiltração direta através da parte envoltória do poço.

No entanto, próximo a estes pontos d'água contaminados, em um raio de 300 metros, funcionam, até agora sem problemas, poços profundos para abastecimento d'água dos bairros de Cidade Nova/Felipe Camarão. Os estudos realizados pela CAERN em 1987, indicam que as interferências causadas pelo bombeamento destes poços são da ordem de 1,65 metros para uma distância de 332 metros e uma vazão de exploração de 45 m³/h. Como estes poços funcionam permanentemente com uma vazão dessa ordem, os cones de depressão estão atingindo os pontos poluídos e portanto atraindo o poluente; sendo essa, de um modo geral, a explicação para a crescente evolução do nitrato nas águas subterrâneas de Natal.

O acesso dos efluentes não tratados à zona saturada, se realiza através dos poços e cacimbas mal construídos, sem proteção sanitária adequada e mal conservados. Daí em diante o próprio fluxo natural e principalmente o bombeamento dos poços, se encarregam de espalhar o poluente pelo meio aquífero e pelos pontos de exploração de água subterrânea, conforme revela o mapa de distribuição dos teores de nitrato (fig. 5).

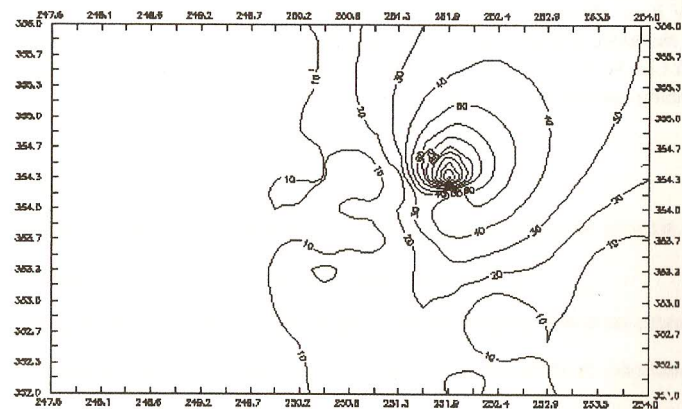


Fig. 5 - Mapa de distribuição dos teores de nitrato na zona do lixão da zona leste de Natal.

CONCLUSÕES

A origem da poluição, por excesso de nitrato, que vem afetando o aquífero livre existente nas Dunas da cidade de Natal, se encontra principalmente nos esgotos não tratados que em muitos locais circulam a céu aberto pelas proximidades de muitas estruturas de captação de água subterrânea. Quanto ao mecanismo dessa poluição, a observação dos locais onde existem pontos d'água com excesso de nitrato, revela quase sempre a presença de efluentes domésticos circulando superficialmente nas proximidades imediatas das captações. Admite-se portanto, que o esgoto não tratado atinge a zona saturada através dos poços e cacimbas com proteção sanitária deficiente.

Não há indícios, pelo menos até agora, de contaminação por transporte de poluente através da zona não saturada, na área do lixão. Em se tratando do nitrato, cuja mobilidade e estabilidade na água subterrânea é muito grande, pode-se concluir que a vulnerabilidade do aquífero, segundo

Foster (1987) pode ser classificada como *moderada*, com índice de 0,34, nos setores com zona de aeração na faixa de 10 a 50 m de espessura; e *alta*, com índice de 0,51, nos setores em que a zona de aeração apresenta menos de 10 m de espessura.

BIBLIOGRAFIA

- BEAR, J. and VERRUIJT, A. (1986), *Modeling flow in the unsaturated zone*. Modeling Groundwater flow and pollution, 123-153. D. Reidel.
- CASTRO, V. L. L. (1994), *Origem e mecanismo de poluição das águas subterrâneas na área de Cidade Nova - Natal - RN*. Dissert. Mestrado em Geociências, UFPE, Recife, 130 p. Inédito.
- FREEZE, A. e CHERRY, J.A. (1979), *Groundwater contamination*. Groundwater, 383-456, New Jersey, Prentice-Hall.
- TOUMA, J. e VAUCLIN, M. (1986), *Experimental and numerical analysis of two-phase infiltration in a partially saturated soil*. Transport in Porous Media 1, 27-55. D. Reidel.
- THANAKIJ, V.R. e PERRINE, R.L. (1986), *A mathematical model for subsurface chemical transport in the unsaturated zone*. UCLA, Civil Eng. Department. Inédito.
- WILLIS, R. e YEH, W-G. (1987), *Groundwater quality - the mass transport problem*. Groundwater systems planning and management, 57-79. New Jersey, Prentice-Hall.