Comportamento do nitrato em poços do aquífero Dunas/Barreiras nas explorações Dunas e Planalto, Natal, RN, Brasil

Nitrate behavior in Dunas/Barreiras aquifer wells in Dunas and Planalto exploitations, Natal, RN, Brazil

Natalina Maria Tinôco Cabral

Doutora em Hidrogeologia pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Pesquisadora no Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (LARHISA) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

Antonio Marozzi Righetto

Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia Civil São Carlos, Universidade de São Paulo (USP). Professor Titular do LARHISA, UFRN

Marcelo Augusto Queiroz

Hidrogeólogo da Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte (CAERN)

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento do nitrato em duas captações do aquífero Dunas/Barreiras na porção Sul de Natal (RN), abrangendo os bairros do Tirol, Nova Descoberta e Planalto. Os resultados mostram que, no bairro densamente povoado e com um histórico mais antigo de ocupação, os valores de nitrato estão acima do limite máximo de potabilidade vigente (10 mg/L N-NO₃⁻). No bairro com histórico de ocupação mais recente e com densidade populacional mais baixa, os teores de nitrato são baixos, mas mostram clara evidência de crescimento. Os dados indicam, portanto, que a contaminação por nitrato está relacionada, entre outras causas, à densidade populacional e ao histórico de ocupação urbana.

Palavras-chave: aquífero Dunas/Barreiras; nitrato; densidade populacional.

Abstract

This paper aims at evaluating the nitrate contamination in groundwater in two sets of exploitation wells located at Dunas/Barreiras aquifer in Natal (RN), Brazil, comprising the neighborhoods Tirol, Nova Descoberta and Planalto. Data interpretation demonstrated that in the long-time occupied region, groundwater has nitrate concentrations above the allowed limit value (10 mg/L N-NO₃⁻). Whereas, data collected in recently occupied area show that the presence of nitrate is sufficiently low, but reveals that its concentration is increasing with time. In conclusion, nitrate concentrations indicate that contamination is related to population density and with urban occupancy history.

Keywords: Dunas/Barreiras aquifer; nitrate; population density.

Introdução

A Companhia de Saneamento e Esgoto do Rio Grande do Norte (CAERN) distribui cerca 95 milhões de m³ de água ao ano para a população de Natal (RN), sendo que 65% é proveniente de águas subterrâneas e o restante, das águas superficiais das lagoas de Jiqui e Extremoz, localizadas na periferia da cidade. As águas subterrâneas representam, portanto, a mais importante fonte de suprimento hídrico da população.

Apesar da importância que as águas subterrâneas representam para o abastecimento da cidade de Natal, sua qualidade, a cada dia, se deteriora em decorrência das crescentes atividades urbanas. Dentre as atividades mais impactantes, destaca-se a infiltração no solo de águas servidas das fossas e sumidouros, pois cerca de 70% dos esgotos domésticos produzidos são lançados no subsolo (RIGHETTO; ROCHA, 2005).

A inexistência de sistema de esgotamento sanitário e de tratamento que possibilite a disposição final adequada aos esgotos domésticos, já compromete o manancial subterrâneo da cidade, a julgar

Endereço para correspondência: Natalina Maria Tinôco Cabral – Rua João das Estivas, 1.797/1.303 – Barro Vermelho – 59030-640 – Natal (RN), Brasil –

Tel.: (84) 3213-8504 – E-mail: natalinacabral@gmail.com

Recebido: 2/9/08 – Aceito: 22/5/09 – Reg. ABES: 132/08

pelos teores de nitrato acima do padrão de potabilidade da Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde, que é 45 mg/L - NO_3^- (10 mg/L $\text{NO}_3^- \text{ N}$) encontrados em água de poços que abastecem Natal. De acordo com a CAERN, vários poços que ultrapassaram esse limite foram fechados, enquanto outros ainda se encontram em operação graças à diluição efetuada pela concessionária, por meio da mistura de águas provenientes de mananciais superficiais.

Vale destacar que o nitrato (NO_3^-) é um contaminante persistente, com grande mobilidade, não degrada facilmente em meio aeróbico e, em teores acima de 10 mg/L N-NO_3^- , pode causar doenças como metahemoglobinemia (WHO, 2008) e câncer gástrico (INCA, 2009). De acordo com Wilhelm, Schiff e Cherry (1994), o principal mecanismo de degradação é a desnitrificação, que exige um ambiente redutor, presença de bactérias desnitrificantes, carbono facilmente degradável ou uma substância equivalente receptora de elétrons, ou seja, condições raras no ambiente de água subterrânea.

A ocorrência de contaminação de aquíferos por espécies nitrogenadas, provenientes de sistema sépticos e/ou de práticas inadequadas de saneamento, tem sido documentada por diversos trabalhos em vários países. Esses trabalhos, em sua maioria, quantificam e estudam o comportamento dessas espécies, correlacionando-as a outros constituintes químicos e à densidade populacional ou, ainda, comparando os teores obtidos em áreas saneadas aos de áreas não saneadas. Dentre esses, destacam-se: Robertson (1979); Robertson *et al* (1991). Poucos trabalhos, entretanto, analisam com detalhe a evolução geoquímica dos efluentes em sistemas sépticos, que ocorrem tanto na zona não saturada quanto na zona saturada e, principalmente, as transformações da série nitrogenada, em especial as questões associadas à desnitrificação (WILHELM; SCHIFF; CHERRY, 1994).

No Brasil, existem vários estudos que abordam a contaminação de aquíferos por nitrato e amônio provenientes de efluentes domésticos. Dentre esses, podem ser citados os estudos de Szikszay *et al* (1990), Melo (1995) e Melo, Queiroz e Hunziker (1998). Há, ainda, trabalhos que começam a detalhar, principalmente por meio de experimentos de campo, o comportamento geoquímico da série nitrogenada, a exemplo de Cabral (2004) e Varnier (2001; 2007).

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento do nitrato em duas captações da porção Sul de Natal, abrangendo os bairros do Tirol, Nova Descoberta e Planalto. Será desenvolvida uma comparação entre os bairros já beneficiados com rede de esgoto, densamente povoados e com história de ocupação antiga (Tirol e Nova Descoberta: captação Dunas) com o bairro onde esse serviço é inexistente, mas com menor densidade populacional e com histórico de ocupação mais recente (Planalto: captação Planalto).

Características hidrogeológicas da área

A área de estudo está situada na bacia sedimentar costeira a leste do Estado do Rio Grande do Norte. É composta por sedimentos

tercio-quaternários do Grupo Barreiras que estão sobrepostos a rochas carbonáticas cretáceas e, em grande parte, recobertos por dunas. Em termos litológicos, os sedimentos Barreiras são formados por arenitos finos e argilosos na porção superior e arenitos mais grossos na porção inferior. As dunas são areias finas, homogêneas e esbranquiçadas.

Estudo realizado por Melo (1995) mostra que os sedimentos tercio-quaternários guardam um sistema hidráulico único denominado sistema aquífero dunas, Barreiras. Esse sistema comporta-se, no geral, como livre, porém, localmente, pode desenvolver condições de semiconfinado.

De acordo com Melo, Queiroz e Hunziker (1998), a espessura dos sedimentos Dunas/Barreiras é de 90 m, com espessura saturada efetiva de cerca de 40 m. Os parâmetros hidrodinâmicos obtidos para o sistema na porção sul de Natal são os seguintes: condutividade hidráulica variando de $8,5 \times 10^{-5}$ a $3,1 \times 10^{-4}$ m/s; transmissividade de $3,1 \times 10^{-3}$ a $1,2 \times 10^{-2}$ m²/s e porosidade específica de 10%. Em condições naturais, as águas subterrâneas na região de Natal são de excelente qualidade, muito embora áreas expressivas da cidade já estejam contaminadas por nitrato (teores acima de 45 mg/L NO_3^- ou 10 mg/L N-NO_3^-)

Características dos bairros

Neste estudo, serão apresentados dados de nitrato de duas captações: Dunas, nos bairros de Tirol, Nova Descoberta e Planalto, no bairro do Planalto. A captação Dunas possui poços nos bairros de Nova Descoberta e Tirol. Os dois bairros são mais populosos e de ocupação mais antiga do que a captação Planalto, no bairro do Planalto. As fossas sépticas predominam nos bairros do Planalto e Nova Descoberta, enquanto no bairro do Tirol grande parte das casas já está ligada à rede de esgoto (Tabela 1). A Figura 1 ilustra as distribuições dos poços nos bairros estudados.

Resultados e Discussões

A Tabela 2 apresenta um sumário estatístico para a amostragem realizada na captação Dunas entre 1999 a 2006. Observa-se, para um universo de 131 amostras, que a média de nitrato foi de 13,6 mg/L-N, com mínimo de 3,0 mg/L-N e máximo de 21,5 mg/L-N. Nota-se, portanto, para nitrato, uma grande amplitude de valores, além de um teor médio elevado, acima do limite de potabilidade de 10 mg/L-N (BRASIL, 2004). O pH também apresenta uma faixa de valores relativamente ampla, posicionando-se desde um campo ácido (mínimo de 4,4) até próximo da neutralidade (máximo de 7,2). Já o cloreto variou de 25 mg/L a 53 mg/L, com média de 35 mg/L. A condutividade elétrica (CE) variou na faixa de 33 a 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com média de 211 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esse valor médio encontra-se bem acima do padrão normal das águas do aquífero Barreiras/Dunas, que é inferior a 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Bairro	Captação	Casas	Hab/Ha ¹	Séptica	Rede ²	Ocupação
Tirol	Dunas	4.091	40,35	341	3440	1904* - 1947**
Nova Descoberta		5.713	79,66	2.950	190	1950**
Planalto	Planalto	3.416	28,53	3.289	17	1960* - 1990**

A Tabela 3 retrata o sumário estatístico para o bairro do Planalto. Em um universo de 52 amostras, a média de nitrato foi de 2,62 mg/L-N com mínimo de 0,1 mg/L-N e máximo de 8,6 mg/L-N. Esse valor médio está bem abaixo do limite de potabilidade da Portaria 518 (BRASIL, 2004) e inferior aos teores da captação Dunas. O pH variou de valores ácidos (mínimo de 4,9) até valores próximos da neutralidade (máximo de 6,6). Para o cloreto, a média foi de 23,48 mg/L, com um mínimo de 6,0 mg/L e máximo de 40. A condutividade elétrica

A Figura 2 mostra a evolução das médias de nitrato na captação Dunas. Observa-se que todas as médias anuais apresentaram teores de nitrato acima do limite de potabilidade da Portaria 518 (BRASIL, 2004), sendo que a menor média ocorreu em 1999, com 12,5 mg/L-N

Tabela 2 – Sumário estatístico da amostragem de 1999 a 2006 na captação Dunas, Natal (RN)

Parâmetros	n	Média	Mínimo	Máximo	dp
CL(mg/L)	101	35	25	53	5,52
CE (μ S/cm)	101	211	33	300	52,07
NO ₃ (mg/L-N)	131	13,6	3,0	21,5	2,95
pH	101	5,0	4,4	7,2	0,48

n: número de amostragem; dp: desvio padrão.

Figura 2 – Médias anuais de nitrato nas águas de poços de Nova Descoberta e Tirol, Parque das Dunas, situados na captação Dunas, Natal (RN)

e a maior foi registrada em 2006, com 15,3 mg/L-N. O gráfico mostra que, mesmo com irregularidades, existe uma clara tendência ao aumento dos teores médios de nitrato com o tempo, podendo-se afirmar que resultados médios anuais indicam valores típicos de contaminação por nitrato e que esse processo de contaminação parece estar se incrementando com o decorrer dos anos. Na distribuição de frequência, observa-se, com mais detalhe, esse comportamento temporal de nitrato na captação Dunas.

Os resultados retratados nas Figuras 3 e 4 indicam, para os últimos três anos, uma tendência a aumento no grau de contaminação por nitrato nas águas nos poços pertencentes à captação Dunas. Essa tendência pode ser visualizada, principalmente, pelos resultados das médias (14,2 mg/L-N em 2004 a 2006 e 13,4 mg/L-N em 1999 a 2003) e pela percentagem de amostras com resultados acima de 14 mg/L-N (47% em 2004 a 2006 e 36% em 1999 a 2003). Os resultados são preocupantes, pois uma porcentagem considerável dos poços (29%) apresentou, nos três últimos anos, teores que ultrapassam a 16 mg/L-N, ou seja, bem acima do limite de potabilidade da portaria 518 (BRASIL, 2004).

O mesmo estudo realizado na captação Dunas foi feito, também, para a captação Planalto. A Figura 5 apresenta a distribuição das médias de nitrato ao longo dos anos amostrados no bairro do Planalto, captação Planalto. Observa-se que, de 1999 a 2006, os valores médios

Tabela 3 – Sumário estatístico da amostragem de 1999 a 2006 no bairro do Planalto, Natal (RN)

Parâmetros	n	Média	Mínimo	Máximo	dp
CL(mg/L)	40	23,48	6,0	40	7,23
CE (μ S/cm)	40	98,87	47	199	38,19
NO ₃ (mg/L-N)	52	2,62	0,1	8,6	2,05
pH	40	5,63	4,9	6,6	0,43

n: número de amostragem; dp: desvio padrão.

Figura 3 – Distribuição dos teores de nitrato (mg/L-N) de 1999 a 2003 na captação Dunas, englobando os poços da CAERN localizados nos bairros Nova Descoberta e Tirol, Natal (RN)

anuais de nitrato se posicionaram entre 1,5 mg/L-N a 4,6 mg/L-N. Nota-se um claro crescimento das médias ao longo dos anos, mesmo que todas elas tenham se apresentado abaixo do limite de potabilidade de 10 mg/L-N (BRASIL, 2004).

Já no estudo da distribuição de frequência (Figuras 6 e 7), mesmo considerando a quantidade relativamente baixa de análises, algumas considerações, observadas nos dois histogramas, são significativas dentro do estudo do comportamento temporal do nitrato: a) a média de nitrato do período de amostragem mais recente (3,3 mg/L-N) é mais alta do que do período de amostragem mais antiga (2,2 mg/L-N); b) amostras com valores acima de 6 mg/L-N e que atingem até 8,6 mg/L-N só foram observadas no período de 2004 a 2006; c) os resultados das distribuições de frequências mostram que os resultados de nitrato no bairro Planalto se posicionam sempre abaixo do limite de potabilidade de 10 mg/L-N, mas existe uma clara (e preocupante) tendência ao aumento desses teores com o decorrer do tempo, como também já foi registrado na Figura 4. Um fator agravante e que pode explicar, pelo menos em parte, essa tendência ao aumento nos teores de nitrato é o amplo domínio, no Planalto, do uso de fossas rudimentares e sépticas associado a uma densidade populacional relativamente alta (28,53 hab/ha). Portanto, no entendimento do processo de contaminação, para nitrato, dos aquíferos Dunas/Barreiras de Natal é essencial considerar fatores como o

adensamento e histórico populacional em conjunto com a qualidade do saneamento praticado.

Os resultados de nitrato em alguns poços foram tratados individualmente, objetivando, novamente, observar aspectos do comportamento temporal desse parâmetro. Na Figura 8, estão pautados os resultados de nitrato em todas as amostragens efetuadas no poço 11A, localizado no Parque das Dunas, no bairro do Tirol, de 1999 a 2006. Observa-se que as análises de nitrato variam dentro de uma faixa relativamente larga de teores, com o valor mínimo um pouco acima de 10 mg/L-N (Novembro de 1999) e um máximo de 21,7 mg/L-N (Outubro de 2006). Nota-se, ainda, que os teores de nitrato que se situam sempre acima do limite de potabilidade vigente, que é de 10 mg/L-N ou 45 mg/L-NO₃ (BRASIL, 2004).

O Poço PT-5A (Figura 9), também situado na captação Dunas, mostra certa irregularidade nos teores de nitrato ao longo dos anos amostrados, porém, todos os teores permaneceram sempre acima do limite de potabilidade vigente, independentemente do período de amostragem. O teor mínimo (11 mg/L-N) foi observado em maio de 2000, enquanto o valor máximo (17,7 mg/L-N) foi anotado em outubro de 2002.

Nas Figuras 10 e 11, apresentam-se os resultados de nitrato em todas as amostragens realizadas em dois poços do bairro do Planalto. Os poços PT-01 (Figura 10) e PT-02 (Figura 11) mostram um comportamento de nitrato, ao longo dos anos, muito similares. Nos dois poços, nota-se uma tendência evidente de crescimento de nitrato no decorrer dos anos de amostragem. No poço PT-01, os teores de nitrato, nas primeiras amostragens, se situavam em torno de 1 mg/L-N e aumentaram gradativamente até atingirem 5,5 mg/L-N na última amostragem (setembro de 2006). No PT-02, observa-se que os teores cresceram também, de forma paulatina, de 2,5 mg/L-N a 8,6 mg/L-N.

Os dados discutidos anteriormente mostram que os poços da captação Dunas, onde estão localizados os bairros populosos e antigos, estão mais severamente comprometidos do que os do bairro do Planalto, menos populoso e de ocupação mais recente. As análises a seguir comparam, mais uma vez, a situação temporal das duas captações.

Foi construído um gráfico das médias de nitrato e condutividade elétrica (CE) para sete poços da captação Dunas (Figura 12), considerando duas situações: a) médias das amostragens efetuadas de 2000 a 2003 e representadas pelo símbolo do poço sem a letra "r"; b) médias das amostragens mais recentes (2004 e 2006) e identificadas, no gráfico, pelo acréscimo da letra "r" ao final do nome do poço. Procurou-se estudar a variação entre os valores médios das amostragens mais antigas com os valores médios das últimas amostragens, que devem representar a situação mais atual dos poços.

Dos sete poços estudados e indicados na Figura 12, quatro mostraram um aumento nos teores de nitrato em relação às amostragens mais recentes (PT-11A, PT-7A, PT-10A e PT-5A), enquanto dois praticamente

Figura 4 – Distribuição dos teores de nitrato (mg/L-N) de 2004 a 2006 na captação Dunas, englobando os poços da CAERN localizados nos bairros de Nova Descoberta e Tirol, Natal, (RN)

Figura 5 – Médias anuais de nitrato nas águas de poços do bairro do Planalto, situados na captação Planalto, Natal (RN)

Figura 6 – Distribuição dos teores de nitrato no bairro do Planalto, captação Planalto, no período de 1999 a 2003, Natal (RN)

Figura 7 – Distribuição dos teores de nitrato no bairro do Planalto, captação Planalto, no período de 2004 a 2006, Natal (RN)

Figura 10 – Variação dos teores de nitrato no poço PT-01 ao longo dos anos amostrados no bairro do Planalto, captação Planalto, Natal (RN)

Figura 8 – Variação dos teores de nitrato no poço 11A, ao longo dos anos amostrados, no Parque das Dunas no bairro do Tirol, Natal (RN)

Figura 11 – Variação dos teores de nitrato no poço PT-02 ao longo dos anos amostrados no bairro do Planalto, captação Planalto, Natal (RN)

Figura 9 – Variação dos teores de nitrato no poço PT-5A ao longo dos anos amostrados, na captação Dunas no bairro de Nova Descoberta, Natal (RN)

não apresentaram variações nos teores de nitrato com o tempo (PT-12B e PT-6A). Apenas um poço mostrou diminuição nos teores de nitrato em relação às últimas amostragens (PT-16). Esse quadro reforça, mais uma vez, que existe, em geral, uma tendência ao aumento do teor de nitrato e, conseqüentemente, da contaminação ao longo do tempo. É interessante registrar que em todos os poços estudados, as médias de nitrato, tanto nas amostragens mais antigas como nas mais recentes, apresentaram teores acima de 10 mg/L-N, enquanto para condutividade elétrica, essas médias estiveram sempre acima de 160 μ S/cm.

Na Figura 13 estão apresentadas as médias de nitrato e condutividade elétrica (CE) para quatro poços do bairro Planalto, considerando o tratamento semelhante ao exercício anterior. As médias de todos os poços estiveram abaixo do limite de potabilidade de 10 mg/L-N, mas em todos os casos existe um claro aumento dos teores de nitrato nas amostragens mais recentes.

Figura 12 – Variações dos valores médios de nitrato e condutividade elétrica para os poços da captação Dunas, Natal (RN). Os poços com a letra “r” no final representam as amostragens mais recentes, de 2004 a 2006 e os outros, sem a letra “r”, as amostragens mais antigas, de 1999 a 2003

Figura 13 – Variações dos valores médios de nitrato e condutividade elétrica para os poços do bairro Planalto, Natal (RN). Os poços com a letra “r” no final representam as amostragens mais recentes, de 2004 a 2006 e os outros, sem a letra “r”, as amostragens mais antigas, de 1999 a 2003

Conclusões

Os dados de todos os tratamentos estatísticos desenvolvidos indicam, para o bairro Planalto, que os resultados de nitrato estão abaixo do limite de potabilidade vigente (BRASIL, 2004), mas existe uma tendência clara e preocupante de aumento com o decorrer do tempo nos teores desse parâmetro. Esse aumento de nitrato deve ter uma correspondência direta com o aumento da densidade populacional associado à ausência de um sistema de saneamento apropriado.

Referências

- BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria nº 518*, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2004.
- CABRAL, N.M.T. *Impacto da urbanização na qualidade das águas subterrâneas nos bairros do Reduto, Nazaré e Umarizal, Belém (PA)*. 278 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, 2004.
- INCA. Instituto Nacional de Câncer. Câncer de Estômago. [on-line]. Disponível em <http://www.inca.gov.br> Acesso em: agosto.2009
- MELO, J.G. *Impactos do desenvolvimento urbano nas águas subterrâneas de Natal, RN*. 195 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.
- MELO, J.G.; QUEIROZ, M.A.; HUNZIKER, J. *Mecanismos e fontes de contaminação das águas subterrâneas de Natal (RN) por nitrato*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 10, São Paulo. Anais... São Paulo. CD-ROOM, 1998.
- RIGHETTO, A.M.; ROCHA, M. Exploração sustentada do aquífero Dunas/Barreiras na Cidade de Natal, RN. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 10, n. 2, p. 27-38, 2005.
- ROBERTSON, F.N. Evaluation of nitrate in the ground water in the Delaware coastal plain. *Ground Water*, v. 4, p. 328-337, 1979.
- ROBERTSON, W.D. *et al.* Ground water contamination from two small septic sytems on sand aquifer. *Ground Water*, v. 29, n. 1, p. 82-92, 1991.
- SEMURB. Secretaria Municipal de Meio Ambiente. *Conheça melhor o seu bairro*. [on-line]. Disponível em: <http://www.natal.rn.gov.br/semurb/paginas/ctd-103.html>. Acesso em: 21 ago. 2009.

SERHID. Secretaria de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte. *Relatório Final de Cadastramento e nivelamento de poços do aquífero Barreiras no município do Natal (RN)*. Rio Grande do Norte, 2007.

SZIKSZAY, M. *et al.* Evolution of the chemical composition of water passing through the unsaturated zone to ground water at na experimental site at the University of São Paulo, Brazil. *Journal of Hydrology*, v. 118, n. 1-4, p. 175-190, 1990.

VARNIER, C.L. *O efeito do nitrogênio proveniente de sistemas de saneamento "in situ" na qualidade das águas subterrâneas em aquíferos livres e rasos*. 88 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

_____. Avaliação da contaminação de uma fossa negra desativada na zona não-saturada do aquífero Adamantina em Urânia (SP). 158 f. tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

WHO. World Health Organization. Guidelines for drinking – water quality. 2008. [on line]. Disponível em < http://www.who.int/water_sanitation_health > Acesso em: 21 ago. 2009

WILHELM, S.R.; SCHIFF, S.L.; CHERRY, J.A. Biogeochemical evolution of domestic waste water in septic systems: 1 conceptual model. *Ground Water*, v. 32, n. 6, p. 906-916, 1994.