

ESTUDO DA LIXIVIAÇÃO DO NITRATO NO SOLO

Mariana Magna Santos da Nóbrega¹; Antônio Marozzi Righetto² & David Sena Balreira³

Resumo

As águas subterrâneas, ao longo das últimas décadas, vêm se configurando como principal fonte de abastecimento nas grandes cidades, seja pelas suas vantagens intrínsecas, seja pela composição natural desses aquíferos. O município de Natal, capital do estado do Rio Grande do Norte, está fortemente relacionado com essa tendência, já que no início do ano 2000, cerca de 70% da água utilizada para abastecer a população provinha de fontes subterrâneas. No entanto, atualmente, o que se observa, é que toda essa disponibilidade de água na cidade está fortemente comprometida pela falta de uma estrutura básica de saneamento que a proteja de forma devida. Altos índices de nitrato provenientes de efluentes domésticos oriundos de fossas e sumidouros estão sendo os responsáveis pela desativação de diversos poços d'água subterrânea. Pesquisas que busquem descrever o comportamento do contaminante nitrato ao se infiltrar no solo podem ser utilizadas como instrumentos que venham a orientar procedimentos que visem contornar ou ao menos, minimizar a atual situação de contaminação. Sendo assim, o presente artigo científico destina-se a descrever experimentos que possam caracterizar a variação do nitrato no decorrer de colunas de solo, comprovando matematicamente essa variação através da utilização de modelo matemático desenvolvido especificamente para este fim.

Abstract

The groundwater recent decades have been the main source of supply in major cities, by their inherent advantages or by natural composition of these aquifers. The city of Natal, capital of the state of Rio Grande do Norte, is strongly related to this trend, since the beginning of 2000, approximately 70% of water used to supply the population came from groundwater sources. However, currently, is observed that all this availability of water in the city is severely compromised by the lack of a basic structure of sanitation that protects so due. High rates of nitrate from domestic wastewater from sinks and tanks are responsible for the deactivation of several underground water wells. Polls find that describe the behavior of the contaminant nitrate when infiltrate in soil can be used as instruments that will guide procedures that aimer a lower or at least minimize the current situation of contamination. Therefore, this paper describe experiments that can characterize the change of nitrate in the course of columns of soil, proving mathematically that this change through the use of mathematical model developed for this purpose.

¹ Mestranda no curso de Engenharia Sanitária pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia. Av. Senador Salgado Filho, s/n, Campus Universitário, Natal/RN. CEP 59072-97. Contato: 3215-3766, marianamagna@yahoo.com.br.

² Professor Dr. do curso de Engenharia Civil e do Mestrado em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia. Av. Senador Salgado Filho, s/n, Campus Universitário, Natal/RN. CEP 59072-97. Contato: 3215-3766, righetto@ct.ufrn.br.

Palavras-Chave: Nitrato, lixiviação, modelagem matemática.

1. INTRODUÇÃO

As características hidrogeológicas do município de Natal, conseqüentes da composição estrutural do aquífero Dunas-Barreiras, permitiram que a cidade, quase que em sua totalidade, fosse constituída de um manancial subterrâneo de água com excelente qualidade e de grande quantidade.

De acordo Philippi Jr. e Martins (2005), o manancial subterrâneo constitui uma importante reserva estratégica para suprimento d'água, já que essa, geralmente não precisa de tratamento para consumo, devido ao processo natural de filtragem do subsolo. No que diz respeito à disponibilidade, a grande oferta existente no aquífero deve-se ao fato de que a formação Dunas-Barreiras acaba por conduzir a água presente na superfície com grande facilidade até ao aquífero confinado, reabastecendo-o de maneira bastante eficiente.

O uso das águas subterrâneas na cidade de Natal iniciou-se, basicamente, no ano de 1902, no qual foram construídos os primeiros poços tubulares. Já em 1924, foi desenvolvido o primeiro projeto para abastecimento d'água da cidade, que previa a perfuração de poços, sendo esse, com o passar dos anos, modificado e ampliado para que, disto feito, o consumo satisfatório fosse garantido (MELO e QUEIROS, 1998).

A partir disso, configurou-se o que seria o sistema de abastecimento público implantado na cidade, baseado, principalmente, em águas provenientes dos mananciais subterrâneos e superficiais. No ano de 2000 em torno de 70% da população era abastecida pela primeira fonte de água e os 30% restantes, supriam suas necessidades a partir de águas provenientes das lagoas de Jiqui e Extremoz.

Concomitante a toda essa contextualização, o que se observou nos últimos 20 anos, em decorrência do desenvolvimento de determinados setores econômicos, como o turismo e a construção civil, foi um forte crescimento urbano acelerado na cidade do Natal, trazendo consigo a demanda por infra-estrutura básica.

No entanto, constata-se que todo esse 'desenvolvimento' não foi acompanhado pela instalação dessa infra-estrutura. Conseqüentemente, foi mantido o sistema de abastecimento baseado em águas subterrâneas, na grande maioria dos casos, continuou-se a adotar um sistema de saneamento com disposição local de efluente (fossa e sumidouro), não sendo instalado o sistema de

³ Aluno do curso de Engenharia Civil e bolsista de iniciação científica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia. Av. Senador Salgado Filho, s/n, Campus Universitário, Natal/RN. CEP 59072-97. Contato: 3215-3766, dvdbalreira@hotmail.com.

esgotamento sanitário coletivo capaz de atender de forma significativa e satisfatória toda a população, e ainda, não foi planejado um sistema de drenagem adequado que contenha e faça uso proveitoso das águas pluviais.

Considerando que, atualmente, a poluição dos mananciais, sejam eles superficiais ou subterrâneos, é um dos maiores problemas ambientais que acometem os centros urbanos. A cidade do Natal tornou-se alvo fácil dessa situação tendo em vista o cenário de fragilidade no qual ela foi inserida. O aporte de carga contaminante originária, principalmente, de fossas e sumidouros domésticos em direção às águas do aquífero, resultou em sério comprometimento da qualidade da água fornecida.

O resíduo matéria orgânica originário do efluente doméstico quando liberado diretamente no solo pode passar por algumas transformações, decompondo-se em substâncias mais simples através do processo de oxidação. A fase mais estável dessa decomposição resulta na presença do íon nitrato (NO_3^-), que, segundo alguns cientistas acreditam, em excesso na água potável e nos alimentos pode torna-se uma substância cancerígena.

O nitrato quando em contato com a água torna-se uma substância solúvel e de fácil lixiviação, podendo alcançar grandes profundidades atingindo assim os lençóis freáticos mais profundos.

Devido a toda essa solubilidade e estabilidade, o que se constata atualmente é que elevados níveis de nitrato estão sendo encontrados em diversos pontos do aquífero de Natal, o que tem sido o motivo da desativação de diversos poços da cidade.

Visando a manutenção da potabilidade da água fornecida, atualmente novas alternativas de abastecimento passam a surgir. No entanto, levando em consideração toda a representatividade inerente às águas subterrâneas para a cidade do Natal, estudos que objetivem entender o funcionamento da hidrodinâmica do aquífero, e conseqüentemente analisem o fluxo do nitrato através de experimentação, apresentam-se como instrumentos de grande relevância na busca por alternativas que contornem (ou ao menos minimizem) o atual processo de contaminação.

Constatando a necessidade de que estudos hidrodinâmicos sejam realizados, foi elaborado assim o seguinte projeto de pesquisa: Contaminação por nitrato do aquífero de abastecimento de água da cidade de Natal, o qual é financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), através do instrumento PRONEX e pela Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Norte (FAPERN). Tal projeto visa à avaliação da hidrodinâmica do aquífero de abastecimento de água da zona sul de Natal e do processo de contaminação por nitrato devido à disposição de esgoto da cidade através de fossas e

sumidouros. O estudo inclui a modelagem do aquífero e simulação experimental do processo de recarga e de contaminação.

2. OBJETIVOS

O presente artigo científico relata a execução do projeto de pesquisa citado anteriormente e tem como problemática à possibilidade de que, a partir da construção de uma estação de monitoramento, torne-se possível a identificação das concentrações de nitrato no decorrer da coluna vertical do solo e que seja viável a demonstração prática de como ocorre a hidrodinâmica do processo de recarga do aquífero e da ação do contaminante nitrato no solo, particularmente, na zona sul da cidade de Natal, devendo essa ser testada e verificada através de um conjunto bem definido de experimentos e provas matemáticas.

2.1 Objetivo geral

De forma geral, a pesquisa tem por objetivo descrever através de modelo matemático o comportamento da água e do nitrato ao se infiltrarem no solo.

2.2 Objetivo específico

Especificamente, pretende-se realizar simulações experimentais do processo de recarga e de contaminação, acompanhados de análises laboratoriais para que se possa validar o modelo de comportamento proposto apresentado pelo contaminante.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais e métodos que serão utilizados e desenvolvidos durante a pesquisa buscam concretizar a etapa da experimentação, que evidenciará as alterações nas concentrações de nitrato no decorrer da infiltração no solo em diferentes situações e propor o perfil do comportamento do nitrato no solo, que diz respeito à modelagem matemática do processo anteriormente descrito.

3.1 Estação de monitoramento

Dentre as possibilidades de se coletar amostras em meio poroso não saturado, foi definido que seria construída uma estação de monitoramento (poço amazonas) localizada na zona

sul da cidade do Natal, mais precisamente, ao lado do Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (LARHISA) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), como mostra a Figura 1.

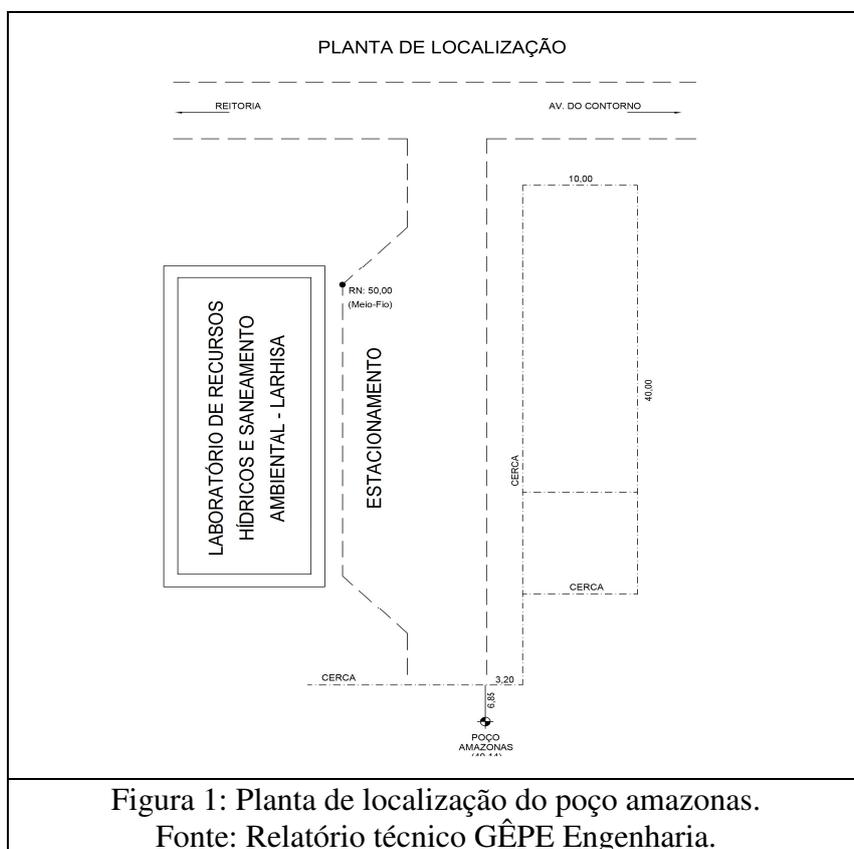


Figura 1: Planta de localização do poço Amazonas.
Fonte: Relatório técnico GÊPE Engenharia.

De acordo com relatório técnico fornecido pela construtora que executou o projeto de escavação e instalação do poço Amazonas de 24 metros de profundidade, com 2 metros de diâmetro externo e 1,85 metros de diâmetro interno, os trabalhos desenvolvidos constaram da escavação manual com a posterior execução do revestimento em alvenaria dobrada de tijolo maciço. Disto feito, foram construídas 6 plataformas de apoio a cada quatro metros, e foram instalados seis lances de escadas de acesso em ferro galvanizado. Por fim, foi adicionada uma tampa de fibra de vidro.

O perfil litológico e construtivo do poço também foi fornecido no relatório, como mostra a Figura 2.

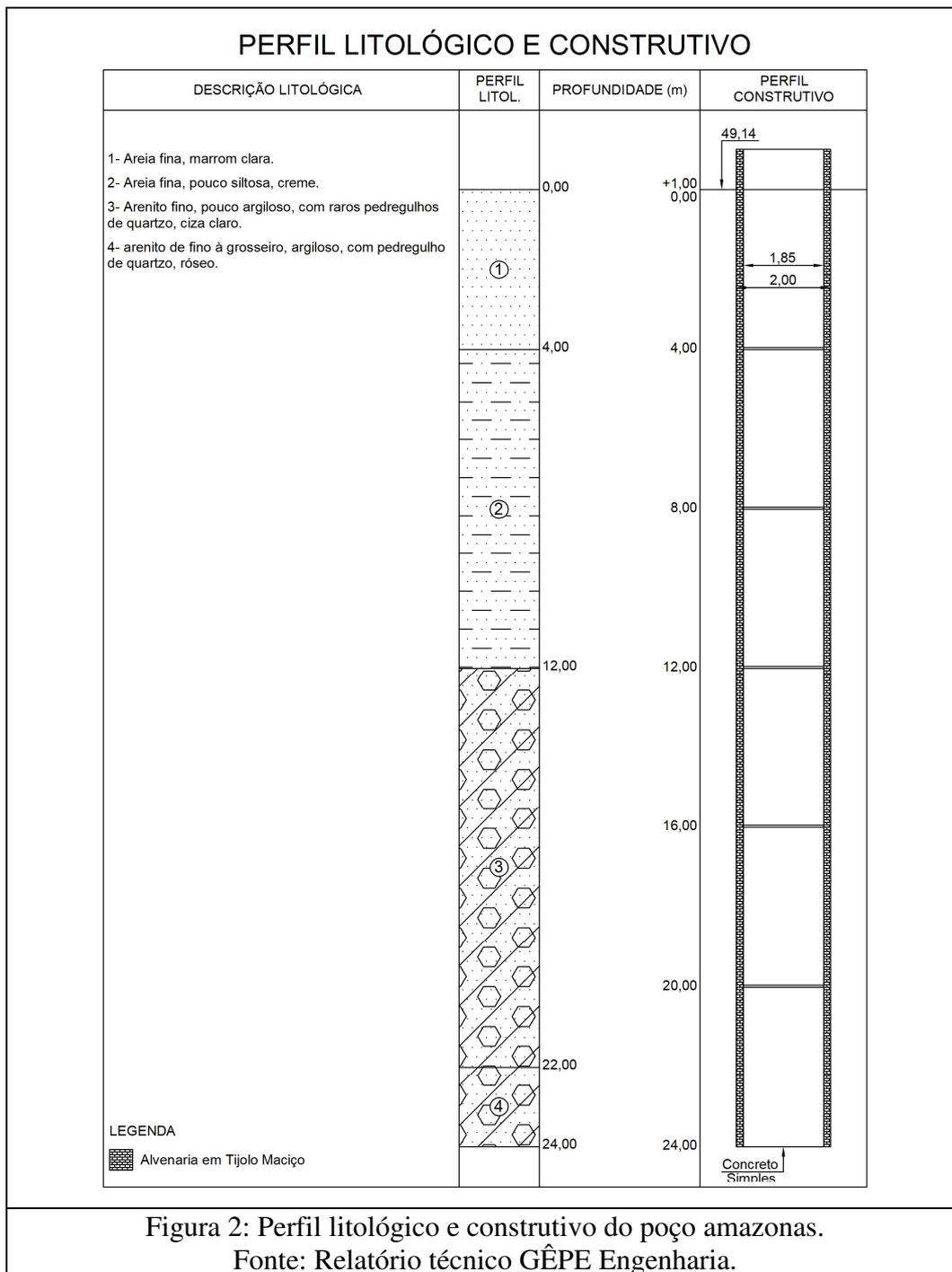


Figura 2: Perfil litológico e construtivo do poço amazonas.
Fonte: Relatório técnico GÊPE Engenharia.

Levando em consideração a necessidade de existir um sistema de ventilação e pontos de luzes dentro da estação de monitoramento, foi alocado um tubo de PVC (13 centímetros de diâmetro) ao longo do poço para a entrada de ar frio, o qual será injetado através da instalação de um equipamento específico a ser definido. Foi ainda instalada, uma lâmpada a cada quatro metros (em cada uma das seis plataformas).

A seqüência de figuras a seguir mostra como ficou a estação de monitoramento após a sua construção.



Figura 3: Poço amazonas.
Fonte: Mariana Magna S. da Nóbrega.



Figura 4: Poço amazonas aberto.
Fonte: Mariana Magna S. da Nóbrega.



Figura 5: Primeiro lance de escada.
Fonte: Mariana Magna S. da Nóbrega.



Figura 6: Primeira plataforma.
Fonte: Mariana Magna S. da Nóbrega.



Figura 7: Segundo lance de escada.
Fonte: Mariana Magna S. da Nóbrega.

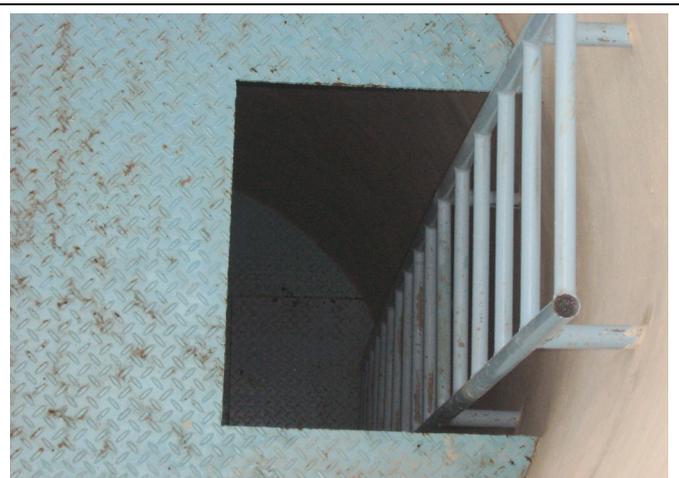


Figura 8: Segunda plataforma.
Fonte: Mariana Magna S. da Nóbrega.

3.2 Experimentos em campo e no laboratório

Serão realizados experimentos tanto em campo como em laboratório, sendo o primeiro através da estação de monitoramento construída, e o segundo a partir da confecção de colunas de solo (material de acrílico) de 95 centímetros.

Objetiva-se analisar amostras de água e de solo (para obtenção de valores de umidade e concentrações de nitrato) em ambas as situações. Isso se daria após a injeção, por um determinado intervalo de tempo, de uma solução de nitrato em torno do poço amazonas e na parte superior da coluna.

Inicialmente, o solo entorno do poço, será encharcado com a solução de nitrato proveniente de um pequeno reservatório que será instalado próximo à estação. Esse depósito conterà um registro que irá manter uma vazão constante, mas que poderá ser alterada manualmente. Após um determinado intervalo de tempo, serão realizadas as coletas das amostras (através do sistema de gavetas que se encaixam em uma abertura na parede da estação, como ilustrado pela Figura 10, as quais irão amparar a água que percolar pelas camadas). Essas coletas serão feitas em seis diferentes níveis de camadas do solo, já que o poço teve seus 24 metros de profundidade dividido em seis compartimentos de quatro metros cada um.



Figura 9: Abertura para gaveta.
Fonte: Mariana Magna S. da Nóbrega.



Figura 10: Abertura para gaveta 2.
Fonte: Mariana Magna S. da Nóbrega.

Para efeito de comparação, será realizado o experimento em laboratório simulando a lixiviação do nitrato ao longo de uma coluna segmentada de solo. A realização desse ensaio baseou-se na metodologia descrita em Miranda e Duarte (2002).

A coluna é construída a partir de amostras do solo de interesse e o processo de contaminação se dá pela injeção de solução padrão de nitrato através de um dosador. Terminado o processo de infecção, se prepara uma pasta saturada com o solo final, esse por sua vez, por meio de

filtro e bomba de vácuo, é separado da solução líquida, submetendo essa, por fim, a análises laboratoriais.

A solução de nitrato utilizada será preparada a partir do sal do nitrato de sódio (NaNO_3) e a metodologia de análise desse íon será pelo método do salicilato. Tais procedimentos, estão descritos em Rodier (1979).

O comportamento de qualquer soluto presente em meio poroso não saturado é fortemente influenciado pelas características que esse solo possui. Sendo assim, a determinação dos diversos parâmetros atuantes em determinada localidade é de fundamental importância quando se busca entender e projetar o avanço de qualquer contaminante no solo. Neste contexto, o manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes da EMBRAPA (1999) é indicado por possuir uma grande diversidade de metodologia para a determinação das diversas variáveis de interesse.

4 Modelagem matemática

De acordo com Libardi (1995), na busca por modelar o comportamento do soluto no solo faz-se necessário primeiramente determinar o fluxo de água nesse mesmo solo. Para isso, no presente trabalho de pesquisa, a equação de Richards é utilizada como referência primária:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\theta) \frac{\partial \phi}{\partial z} \right] \quad (1)$$

Considerando a gama de variáveis que serão utilizadas nas equações que se seguirão, o conhecimento prévio de alguns parâmetros faz-se necessários. Esses valores poderão ser encontrados em material bibliográfico acerca do solo caracterizado ou em outros programas matemáticos que os geram a partir do fornecimento de um dado conhecido como parâmetro de entrada do modelo.

Inicialmente (no tempo zero), foi estabelecido que o solo encontra-se em condição hidrostática, ou seja, não há fluxo de água entre as N camadas, e conseqüentemente, não há diferença de potencial total. Definiu-se também, que a última camada, a imediatamente acima do lençol freático, está saturada. A partir dessa condição de contorno, pode-se inferir que o valor da saturação efetiva (ω) para a camada N será igual a 1, já que a umidade do solo e a umidade no ponto de saturação serão iguais.

$$\omega = \frac{\theta}{\theta_s} \quad (2)$$

na qual,

θ = umidade volumétrica do solo; e

θ_s = umidade volumétrica do solo no ponto de saturação (valor previamente conhecido).

Com o valor da saturação efetiva, torna-se possível calcular o potencial mátrico (ϕ_m) do solo, o qual será zero, e, posteriormente, determinar o valor da condutividade hidráulica do solo não saturado ($K(\theta)$).

$$\phi_m = \frac{\left(\frac{1}{\omega^{1/m}} - 1 \right)^{1/n}}{\alpha} \quad (3)$$

$$K(\theta) = K_0 \omega^{\ell} \left[1 - \left(1 - \omega^{1/m} \right)^m \right]^2 \quad (4)$$

na qual,

m, n, α, K_0 = são parâmetros previamente conhecidos.

Buscando obter os valores calculados acima para as demais camadas do solo, será utilizado o seguinte artifício. Sabe-se que inicialmente não existe diferença de potencial entre as camadas, então:

$$\phi_{m_N} + \phi_{g_N} = \phi_{m_{N-1}} + \phi_{g_{N-1}} \quad \therefore (5)$$

$$\phi_{m_{N-1}} = \phi_{m_N} - \Delta \phi_g \quad (6)$$

Considerando que a distância entre as camadas é um valor conhecido, logo, para a camadas N-(x) será possível calcular os valores de potencial matricial, de saturação efetiva, de umidade e finalmente, de condutividade hidráulica, todos no tempo zero.

Com saturação da primeira camada (camada mais superior) no tempo maior que zero, o fluxo de água tem início. Assim, torna-se possível o cálculo do fluxo de água entre as duas primeiras camadas, que por sua vez, permite encontrar a variação de umidade entre essas camadas.

$$q = -\bar{K}_0 \frac{\partial \phi}{\partial z} \quad (7)$$

$$\Delta \theta = \frac{\Delta q \Delta T}{V} \quad \therefore (8)$$

$$\Delta \theta = \frac{\Delta q \Delta T}{\Delta Z} \quad (9)$$

na qual,

ΔT = corresponde ao intervalo de tempo adotado como período de transferência entre duas camadas.

Obtido o valor de $\Delta\theta$, sabe-se o quanto a segunda camada recebeu nesse primeiro intervalo de tempo, e quanto será o novo valor da umidade na camada 2. Assim, uma nova ω é obtida, em consequência, se tem novos valores para $\Delta\phi$ e para $K(\theta)$. No segundo intervalo de tempo, seguindo essa mesma lógica, calcula-se os fluxos entre as camadas 1 e 2 e entre 2 e 3, já considerando aqueles novos valores obtidos e assim sucessivamente, até o fim do intervalo de tempo estipulado.

No que diz respeito à variação da concentração de nitrato na coluna de solo, inicialmente se obtém o fluxo de massa, o qual é calculado a partir do produto entre o fluxo de água, obtido anteriormente, e a concentração de nitrato na solução aplicada no solo.

Tendo em vista que na fase atual do projeto está sendo desenvolvida a modelagem matemática referente ao soluto, o detalhamento desse processo não foi possível de ser abordado no presente documento.

4 RESULTADOS ESPERADOS

O desenvolvimento dos experimentos descritos nesse artigo científico foi iniciado a partir da construção da estação de monitoramento no ano de 2007 e 2008. Disto feito, está sendo finalizada a instalação de toda a estrutura de segurança necessária para a estação de monitoramento e a confecção de colunas de solo, do tipo acrílico, para realização da experimentação em menor escala. As simulações, tanto em campo, como em laboratório, tem precisão de começarem no mês de agosto de 2008. E em relação ao modelo matemático que será utilizado, este encontra-se finalizado no que diz respeito a percolação da água no solo, sendo que o processo de lixiviação do substrato está em fase de finalização.

Com isso, pretende-se, no início do mês de novembro a apresentação dos resultados iniciais da pesquisa, demonstrando assim, o comportamento do contaminante nitrato no solo característico da cidade de Natal.

5. REFERENCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA, 1998. **Standard methods for examination of water and wastewater**, 20 ed., Washington. APHA.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 1997. **Norma NBR 13.895: Construção de poços de monitoramento e amostragem.**

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, 1999. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília: Embrapa Solos/Embrapa Informática Agropecuária/Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia.

GEPÊ ENGENHARIA LTDA. **Relatório técnico de poço de amazonas.** Natal: 2008. 4 p.

LIBARDI, Paulo Leonel. **Dinâmica da água no solo.** 1. ed. Piracicaba: Edusp, 1995. 344 p.

MELO, José Geraldo e QUEIROS, Marcelo Augusto. **Situação atual da exploração das águas subterrâneas na região da Grande Natal – RN, Br.** Congresso Latinoamericano de hidrologia subterrâneas 4, 1998.

MIRANDA, Jarbas H. de. **Modelo para simulação da dinâmica de nitrato em colunas verticais de solo não saturado.** 95 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

MIRANDA, Jarbas H. de. e DUARTE, Sergio N, 2002. **Modelo para simulação da dinâmica de nitrato em colunas verticais de solo não saturado.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, n.2, p.235-241.

PHILIPPI JR, Arlindo; MARTINS, Getúlio. Águas de Abastecimento. In: PHILIPPI JR, Arlindo (Ed.). **Saneamento, saúde e ambiente:** fundamentos para um desenvolvimento sustentável. São Paulo: Manole, 2005. 842 p. p. 117-180.

RODIER, J. 1975. *L’analyse de l’eau: eaux naturelles, eaux residuais, eaux de mer.* 5. ed. Paris: Dunod, v.1. 629 p.

VASCONCELOS, Nelson Silveira. **O avanço da contaminação por nitrato nas águas subterrâneas da zona sul de Natal/RN.** 98 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2002.