

# Groundwater quality monitoring and evaluation on a Brazilian costal aquifer

Diego Ferreira Targino; Cristiano das Neves Almeida; Carmem Lúcia Gadelha; Victor Hugo Rabelo Coelho; Franklin Mendonça Linhares; José Dorivaldo Florêncio de Oliveira

Universidade Federal da Paraíba – Centro de Tecnologia – Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental  
E-mail e endereço do autor: die.targino15@hotmail.com

## Abstract

Multiple uses of water resources play an important role either for human supply or for industrial activities. Gramame watershed is a representative watershed used by different research projects related to water resources. One of these studies carried out in this watershed is the groundwater quality monitoring of its unconfined aquifer. This aquifer is very important for rural population, once they are not provided by public water supply systems. In this watershed, water samples have been monthly collected in 26 shallow wells since November 2010. The main aim of this study is to know if intensive agricultural use has affected the groundwater quality. For this purpose biological, physical and chemical parameters have been analyzed and will be compared with official Brazilian standards. Spatial distribution of these parameters is presented with support of a Geographical Information System. The first results show that even the shallowest wells have a good water quality.

**Keywords:** groundwater, qualitative monitoring, shallow wells

## 1.0 - Introdução

Nos dias atuais, os impactos ambientais decorrentes das diversas atividades do homem associados à ocupação urbana e ao crescimento desordenado das grandes cidades e metrópoles mundiais sem infraestrutura adequada de esgotamento sanitário ou saneamento básico, têm contribuído para alterar a qualidade da água dos mananciais superficiais destinados ao abastecimento público. Nesses mananciais são freqüentes os lançamentos de despejos domésticos e industriais e ainda a deposição de lixo, assim como a lixiviação de fertilizantes e agrotóxicos (FIGUEIREDO, 2004).

Por outro lado, a utilização da água subterrânea para fins de abastecimento doméstico e/ou industrial vem crescendo em escala acentuada, causando certa preocupação. Esta preocupação diz respeito ao aumento do uso deste recurso que vem se dando de forma descontrolada provocando prejuízos que podem ser de caráter irreversível para o aquífero.

Assim, as retiradas excessivas (super exploração), o desmatamento em várias áreas, a impermeabilização de vastas áreas urbanas, a poluição derivada de aterros sanitários, dos lançamentos de efluentes industriais e domésticos, das atividades agrícolas, dos vazamentos em tanques de combustíveis enterrados são exemplos de ações que afetam a qualidade e a quantidade das reservas de água subterrânea.

Desta forma, a preservação da qualidade da água subterrânea representa, pois, um imperativo inadiável e medidas preventivas devem ser implementadas, sendo essencial para que se possam dar condições de realização de um gerenciamento integrado entre as águas superficiais e subterrâneas.

O estudo da qualidade das águas subterrâneas compreende as análises de parâmetros físicos, químicos e biológicos, entre eles, a Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO, o Oxigênio Consumido - OC e compostos de nitrogênio (como o nitrito e o nitrato).

De acordo com Postma et al., 1991 apud Almasri & Kaluarachchi, 2004, o nitrato é o poluente mais comum encontrado em aquíferos rasos devido a fontes pontuais de poluição como as descargas residuais urbanas e efluentes industriais. Para Esteves, 1998 apud Alves et al. 2008, as formas de nitrogênio na água podem estar associadas a idade da poluição por esgoto doméstico e, quando presente no corpo hídrico, como nitrato, indica que essa poluição é antiga.

Na natureza o nitrato está presente na forma iônica, fazendo parte do ciclo do nitrogênio e, embora quimicamente inerte, pode ser reduzido por ação microbiana. Devido a sua solubilidade e sua forma aniônica, o nitrato é muito móvel nas águas subterrâneas (Fytianos e Christophoridis, 2003 apud Nas & Berkta 2006).

O nitrogênio é um nutriente vital para aumentar o crescimento de plantas e sua produção, o que tem motivado o intenso uso de fertilizantes a base desse elemento. Porém, se aplicado de forma inadequada, esses fertilizantes podem atingir os corpos hídricos superficiais, principalmente nos meses mais chuvosos e, no processo de infiltração, podem atingir o lençol freático contaminando a água subterrânea. Quando a aplicação de fertilizantes de nitrogênio excede a demanda da planta e a capacidade de desnitrificação passa a não consumir mais o nitrogênio dos fertilizantes, o excesso pode ser lixiviado e infiltrar-se no solo até atingir a água subterrânea (Peña-Haro et al. 2009). Assim, o nitrato está entre os poluentes mais comuns e mais difundidos em águas subterrâneas, pois, o uso de fertilizantes a base de

nitrogênio é muito comum em áreas agrícolas. Muitos estudos realizados nos Estados Unidos mostraram que atividades agrícolas são as principais fontes de contaminação da água por nitratos (Spalding e Exner, 1993; Hallberg e Keeney, 1993; Wylie et al., 1995; Ator e Ferrari, 1997; Hudak, 2000; Harter et al., 2002 apud Almasri & Kaluarachchi, 2007).

Nesse contexto, considera-se que lugares onde os níveis de nitrato na água são elevados, pode haver uma correlação com o uso de fertilizantes a base de nitrogênio, em superfície. A contaminação do lençol freático por nitratos é um problema mundial (NAS & BERKTAY, 2006) e preocupante.

Tendo em vista a importância que a água tem para manter as atividades econômicas estáveis, e principalmente um meio ambiente equilibrado, este trabalho trata do estudo do monitoramento e avaliação da qualidade das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do rio Gramame, realizado através de poços rasos perfurados no aquífero livre, que é a principal fonte de abastecimento da população rural. Por conseguinte, os dados coletados vão subsidiar a gestão dos recursos hídricos e a tomada de decisão em bacias com características semelhantes.

## 2.0 - Materiais e Métodos

### 2.1 – Área de estudo e cadastro dos poços

A bacia do rio Gramame localiza-se entre as latitudes 7°11' e 7°23' Sul e as longitudes 34°48' e 35°10' Oeste, no litoral sul do estado da Paraíba (Figura 1). Limita-se a leste com o Oceano Atlântico, a oeste e norte com a bacia do rio Paraíba e ao sul com a bacia do rio Abiaí. A área de drenagem da bacia é de 589,1 km<sup>2</sup>. O principal curso d'água é o rio Gramame, com extensão de 54,3 km, e seus principais afluentes são os rios Mumbaba, Mamuaba e Água Boa. A barragem de Gramame-Mumbaba possui importância superlativa para a cidade de João Pessoa e seu entorno, pois, é através dela que quase um quarto da população da Paraíba é abastecida para diversos fins. A bacia hidrográfica é responsável por cerca de 70% do sistema de abastecimento d'água da chamada Grande João Pessoa, que compreende os municípios de João Pessoa, Cabedelo, Bayeux e parte de Santa Rita, e das cidades de Pedras de Fogo e Conde (PDRH, 2001).

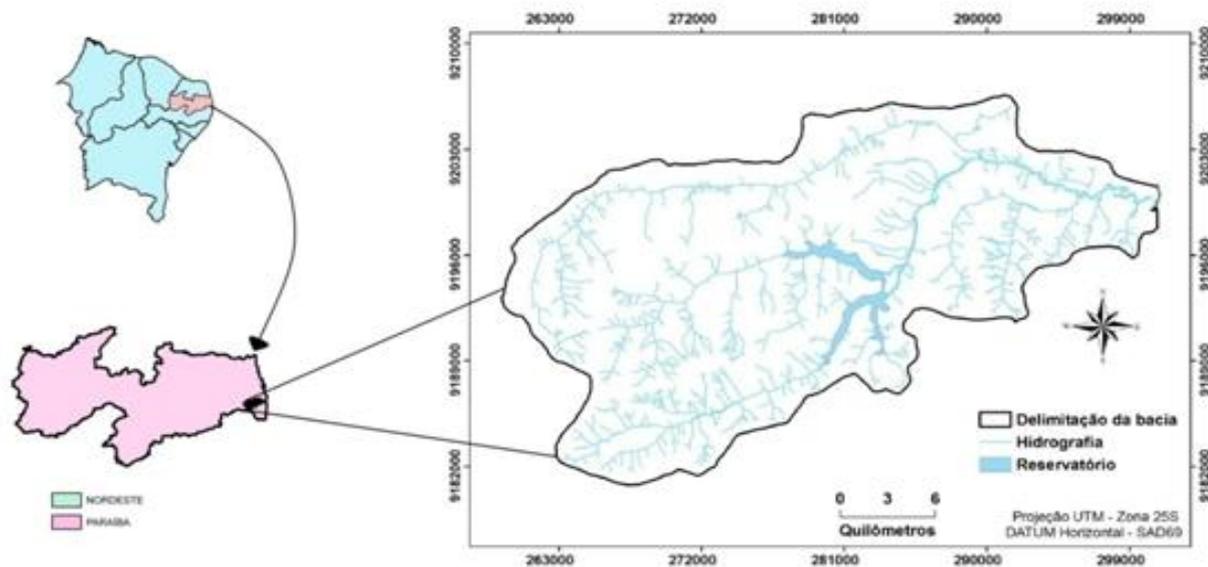


Figura 1 - Mapa de Localização da Bacia do Rio Gramame  
Fonte: Coelho (2010)

Com relação à hidroclimatologia da área de estudo, tem-se que o período chuvoso é compreendido entre os meses de maio e agosto, sendo que a pluviometria média anual é de 1.400,0 a 1.800,0 mm/ano. Os rios principais da bacia hidrográficas são perenes, regime este mantido no período seco devido aos aquíferos livres.

No estudo técnico-experimental foi feito, inicialmente, um levantamento de informações sobre os poços instalados no aquífero livre da bacia do rio Gramame e criado uma base de dados georreferenciados dos poços cadastrados em trabalhos anteriores. Por ocasião de visitas à bacia do rio Gramame foram observadas a localização dos poços existentes, permitindo uma análise espacial dos mesmos, as

finalidades de uso e as condições de salubridade. O georreferenciamento dos poços foi realizado com o auxílio de um GPS do tipo GARMIM - GPSmap76CSx.

Os 18 poços rasos georreferenciados (Figura 2) têm profundidade média de 11,5 metros, com variações de 3,5 a 32,0 metros, sendo todos perfurados no aquífero livre da região em estudo. No geral, esses poços foram perfurados pela comunidade a fim de atender as demandas localizadas de água, que não são supridas pelo poder público. Desta forma, devido à falta de conhecimentos técnicos, muitos poços são perfurados nas proximidades de fossas negras ou de áreas de usos inadequados, sendo estes potenciais poluidores das águas subterrâneas.

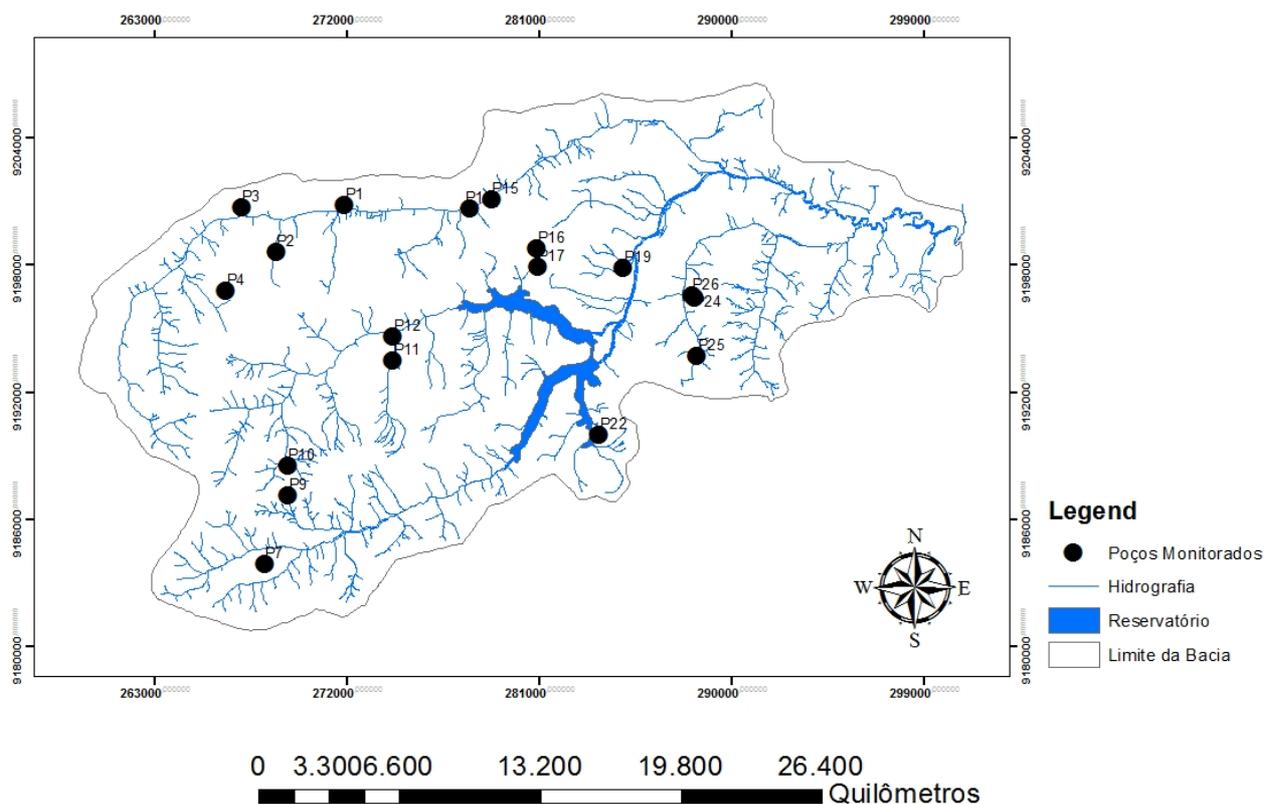


Figura 2 - Poços cadastrados da bacia do rio Gramame

## 2.2 – Monitoramento da qualidade da água – O trabalho de campo

De todos georreferenciados foram feitas coletas de água para análises em laboratório. Seguindo orientação de Feitosa et al. (2008), com relação as análises mais frequentemente realizadas em estudo hidroquímico de águas subterrâneas, foram monitorados os parâmetros: temperatura, cor, turbidez, pH, acidez, alcalinidade, dureza, cloretos, nitrato, nitrito, sulfatos, OC e DBO. As análises laboratoriais foram baseadas nos métodos descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1995). O estudo foi realizado de outubro de 2010 a fevereiro de 2011, ou seja, no período de estiagem, compreendendo 4 campanhas de coleta de água.

## 3.0 – Análise dos resultados

Dos parâmetros analisados, observou-se para a DBO, o OC e o nitrato ( $\text{NO}_3$ ) variações ao longo do tempo, motivo pelo qual os mesmos serão discutidos na avaliação da qualidade das águas subterrâneas da bacia do rio Gramame.

A Figura 3 apresenta a variação temporal da DBO da água, em cada um dos poços cadastrados na bacia citada, durante o período amostrado. Pode-se verificar que, no geral, o parâmetro citado apresentou comportamento semelhante entre os poços analisados. Exceção, porém ocorreu para P3 e P7 que apresentaram variação diferente dos demais poços com pico de concentração (DBO de  $4,51 \text{ mgL}^{-1}$  em P3), no mês de dezembro de 2010.

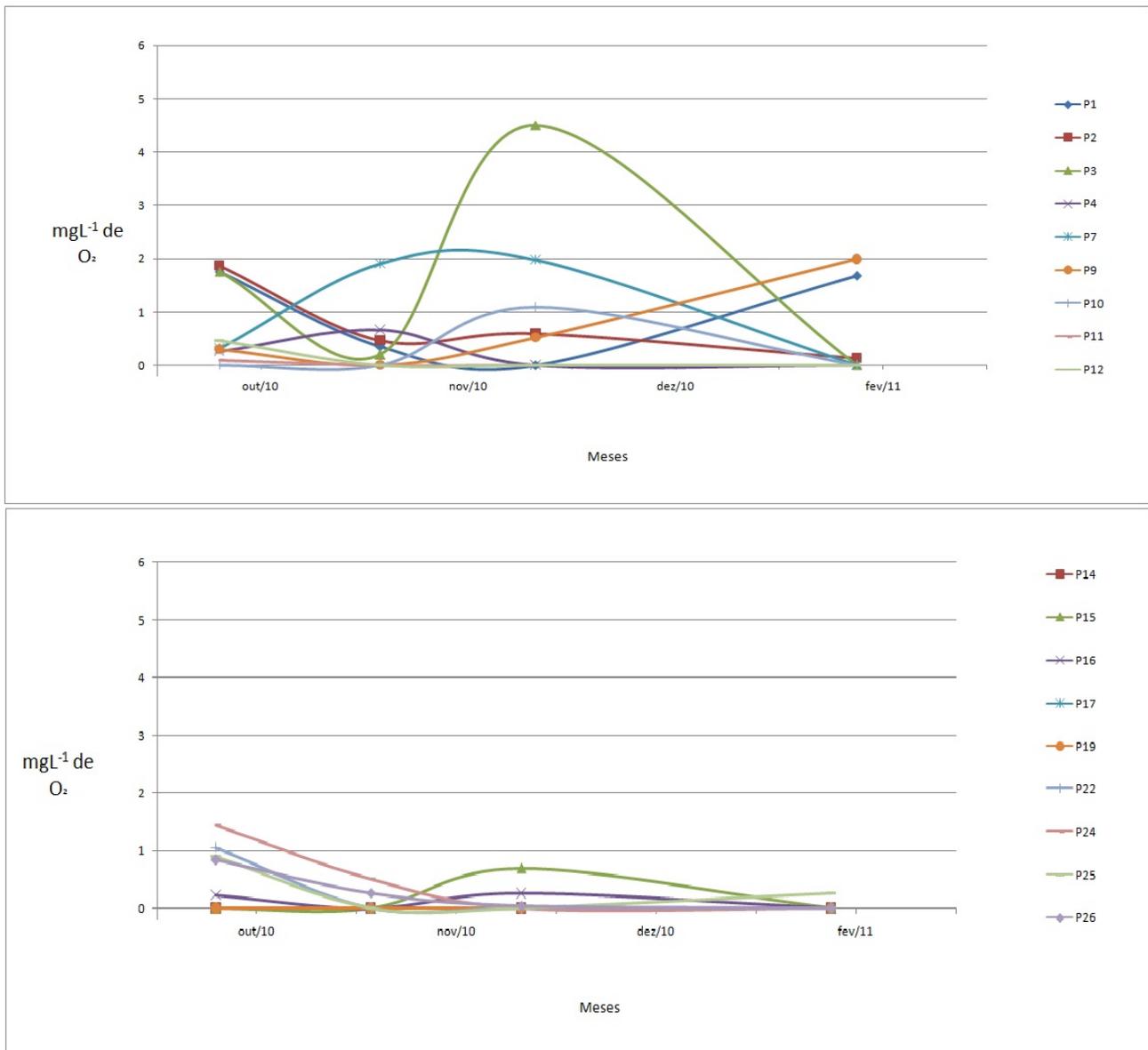


Figura 3 - Variação temporal da DBO da água dos poços da bacia do rio Gramame

A DBO retrata de forma indireta, o teor de matéria orgânica presente em uma amostra de água ou esgoto. É um parâmetro de fundamental importância na caracterização do grau de poluição de um corpo hídrico (Von Sperling, 1996 apud Alves et al. 2008). No caso do trabalho em questão, os valores da DBO se apresentaram, para a grande maioria dos poços, abaixo de 2,0mgL<sup>-1</sup>, apesar das condições ambientais locais. Porém, é provável que os valores mais elevados da DBO em P3 estejam associados à presença de um banheiro/fossa muito próximo (Figura 4).

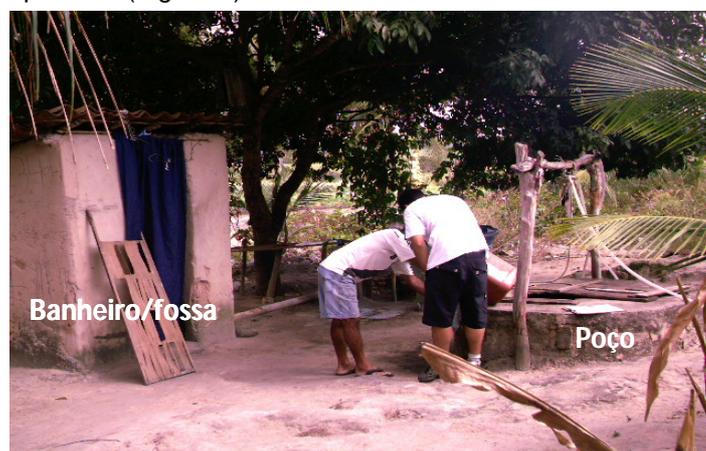


Figura 4- Condições ambientais em torno do poço P3

Pela Figura 5, observa-se que, igualmente ao que ocorreu para a DBO, o parâmetro OC, na maioria dos poços cadastrados na bacia do rio Gramame, também se apresentou baixo e com comportamento semelhante entre eles. Também, para P3, P7 e ainda P16 foram verificados os comportamentos mais distintos em relação ao OC. Porém, pela análise conjunta das Figuras 3 e 5, respectivamente, não foi possível verificar, para um mesmo poço, uma correlação entre a DBO e o OC.

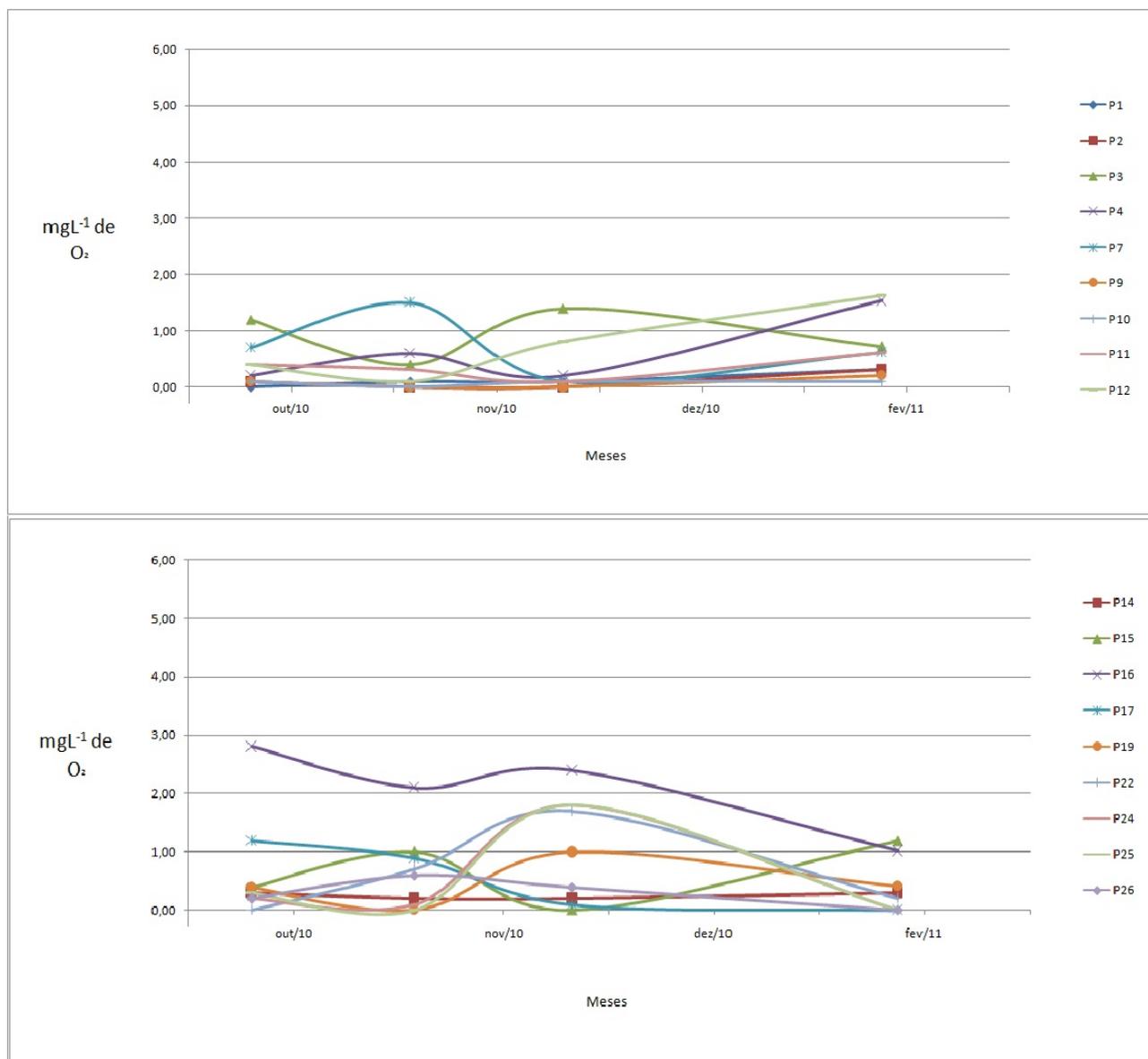


Figura 5 - Oxigênio Consumido na água dos poços da bacia do rio Gramame

O Oxigênio Consumido é o parâmetro de qualidade da água que mede a quantidade de matéria orgânica presente e corresponde à quantidade de oxigênio consumido pela oxidação química. Nas águas subterrâneas, os valores variam geralmente entre 1,0 e 5,0 mgL<sup>-1</sup> de O<sub>2</sub>. Valores acima dos 10,0 mgL<sup>-1</sup> podem ser um claro indício de poluição. Então, a considerar essas informações, os valores de OC encontrados nos poços da bacia do Gramame estão dentro da normalidade, apesar das evidências de insalubridade ao redor da maioria deles, já comentado.

A Figura 6 mostra a variação do nitrato em todos os poços, ao longo do período estudado. Observa-se comportamento bastante semelhante desse parâmetro entre os poços analisados. No entanto, apesar do padrão de variação semelhante, foi verificada em P2, P17 e P22 a presença de nitrato com valores mais elevados chegando a ultrapassar o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008 para águas subterrâneas. O fato da bacia do rio Gramame, com uma base econômica essencialmente rural, desenvolver atividades de irrigação, com grande consumo de fertilizantes e agrotóxicos, para racionalizar e intensificar sua produção agrícola pode justificar ou explicar a presença de nitrato nas águas subterrâneas da referida bacia. Também, em concordância com o descrito por Postma et al., 1991 apud Almasri & Kaluarachchi, 2004, há de se considerar o lançamento de esgotos na proximidade dos poços e ainda, a

existência de banheiro/fossa já que, a presença, na água, de compostos de nitrogênio nos seus diferentes estados de oxidação é indicativo de contaminação por prováveis condições higiênico-sanitárias insatisfatórias. O nitrito e o nitrato estão associados a dois efeitos adversos à saúde: a indução à metemoglobinemia e a formação potencial de nitrosaminas e nitrosamidas carcinogênicas.

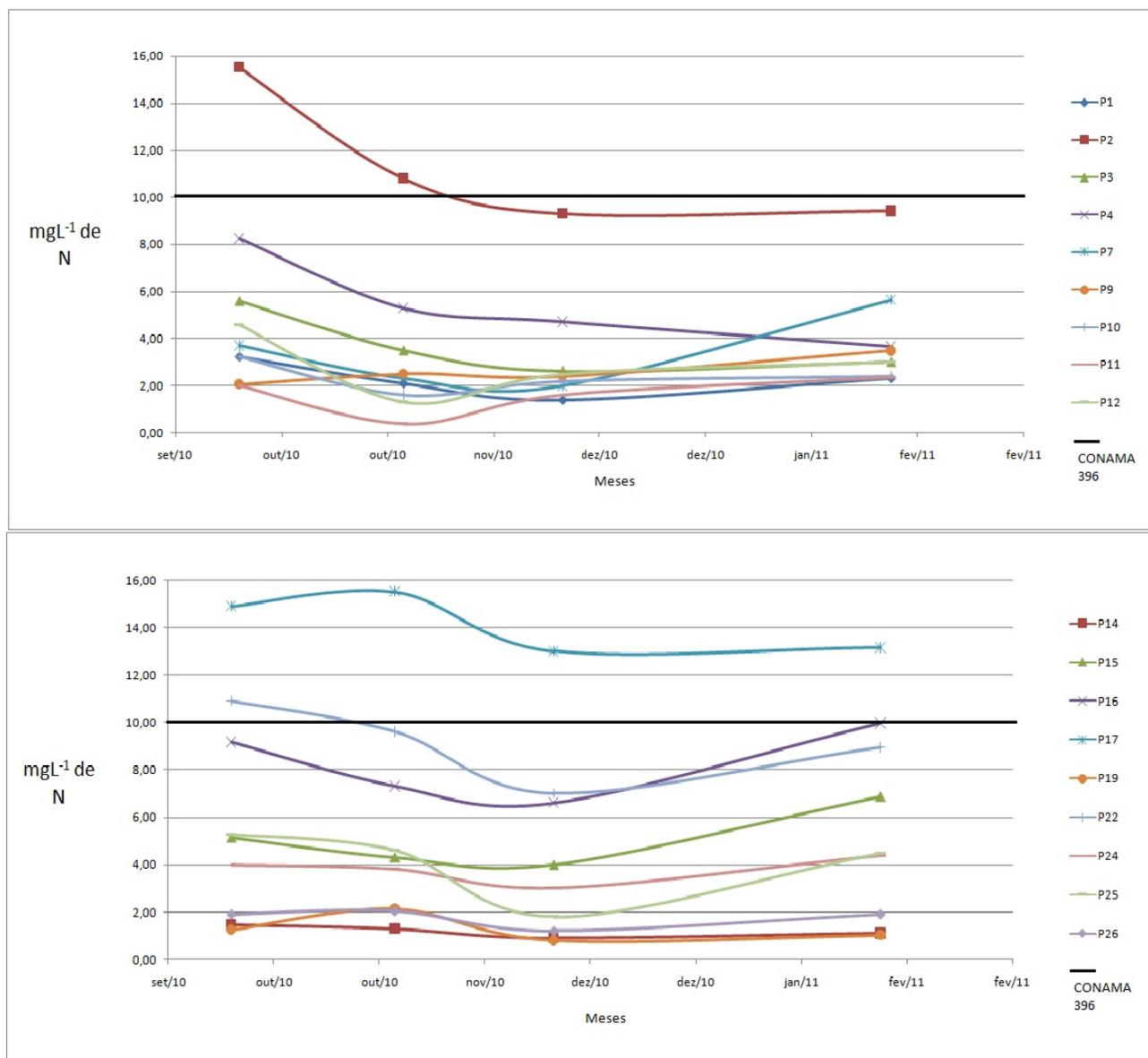


Figura 6– Variação de nitrato nos poços da bacia do rio Gramame, ao longo do tempo

A Tabela 1 mostra, para os parâmetros DBO, OC e nitrato, considerando todos os 18 poços analisados, os valores médios, máximos e mínimos obtidos, juntamente com o desvio padrão e os respectivos valores limites estabelecidos pela Resolução 396/2008 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Nota-se que, foram baixos os valores médios e o desvio padrão da DBO e do OC. Já o nitrato apresentou concentrações mais elevadas, atingindo 15,5 mgL<sup>-1</sup> nos poços 02 e 17. Esse valor ficou bem acima do máximo de 10,0 mgL<sup>-1</sup> permitido pelo CONAMA em águas subterrâneas. Então, analisando os resultados da pesquisa, por esse ângulo, verifica-se que os parâmetros DBO e OC, mais indicativos de poluição por matéria orgânica, se mantiveram com um padrão de variação, mais ou menos constante, ao longo do tempo, apresentando, no entanto, picos isolados de elevação. Para o nitrato a variação da concentração foi bem mais ampla, ao longo do tempo, tendo sido observados (Figura 6) picos (alguns mais discretos e outros não), em praticamente todos os poços, no mês de setembro de 2010. Nesse mês é comum realizar-se a aplicação de fertilizantes e agrotóxicos na cultura irrigada da bacia do rio Gramame, o que pode, realmente, justificar os valores de nitrato encontrados.

Tabela 1 - Resultados dos parâmetros estudados

**Análise físico-química da água subterrânea**

Parâmetros	CONAMA - 396 Consumo Humano	Parâmetros Estatístico				
		Número de Amostras	Média	Minimo	Máximo	Desvio Padrão
Nitrato ( $\text{mgL}^{-1}$ de N)	10,000	90	4,33	0,78	15,5	3,7
DBO ( $\text{mgL}^{-1}$ de $\text{O}_2$ )	Sem Indicação	90	0,47	0,0	4,51	2,08
OC ( $\text{mgL}^{-1}$ de $\text{O}_2$ )	Sem Indicação	90	0,64	0,0	2,6	0,97

No trabalho utilizou-se ainda, de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) para espacialização dos resultados obtidos através do método da interpolação de pontos, com o auxílio do ArcMap. A Figura 7 mostra essa espacialização da DBO, obtida através da média extraída do parâmetro, no período de monitoramento. Essa distribuição indica que, grande parte da bacia do rio Gramame apresenta sua água subterrânea com índices de DBO próximos de zero, não ultrapassando  $2,0 \text{ mgL}^{-1}$ .

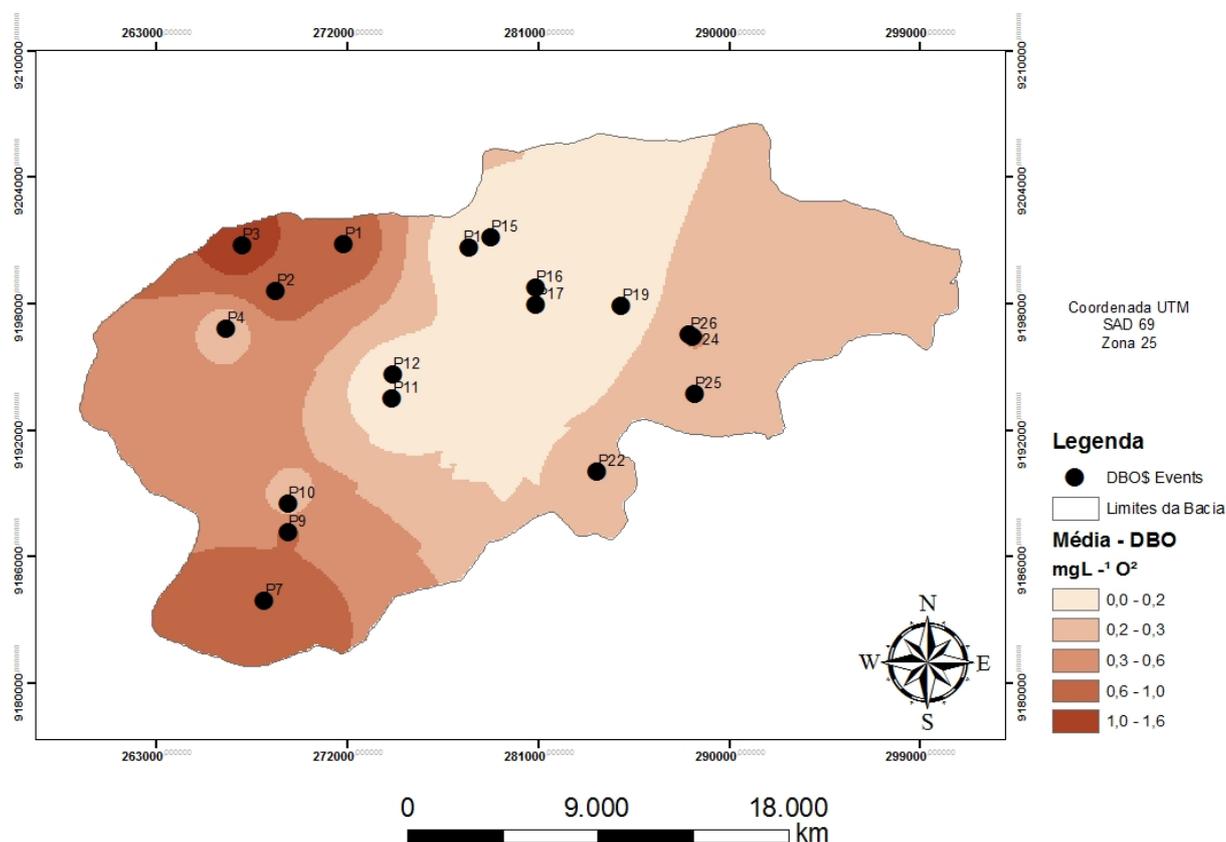


Figura 7 - Distribuição espacial da DBO nos poços da bacia do rio Gramame

A distribuição espacial do OC (Figura 8) na água subterrânea (lençol freático) da bacia do rio Gamame, também levando em consideração a media do parâmetro extraída no período de monitoramento, se apresentou muito variada, mas os valores também se mostraram baixo. As maiores concentrações ficaram na faixa de  $1,6$  a  $3,0 \text{ mgL}^{-1}$  de  $\text{O}_2$  consumido na oxidação química da matéria orgânica. A análise do parâmetro OC corrobora o que foi identificado através da análise feita (sobre a concentração da matéria orgânica) com o parâmetro DBO (Figura 6). No entanto, chama a atenção o fato de que, na região da bacia em que foram verificadas as maiores concentrações de DBO, também foram observados os menores de OC e vice - versa. Conforme já comentado, essa verificação no foi possível, quando da análise individual para cada poço (Figuras 3 e 5).

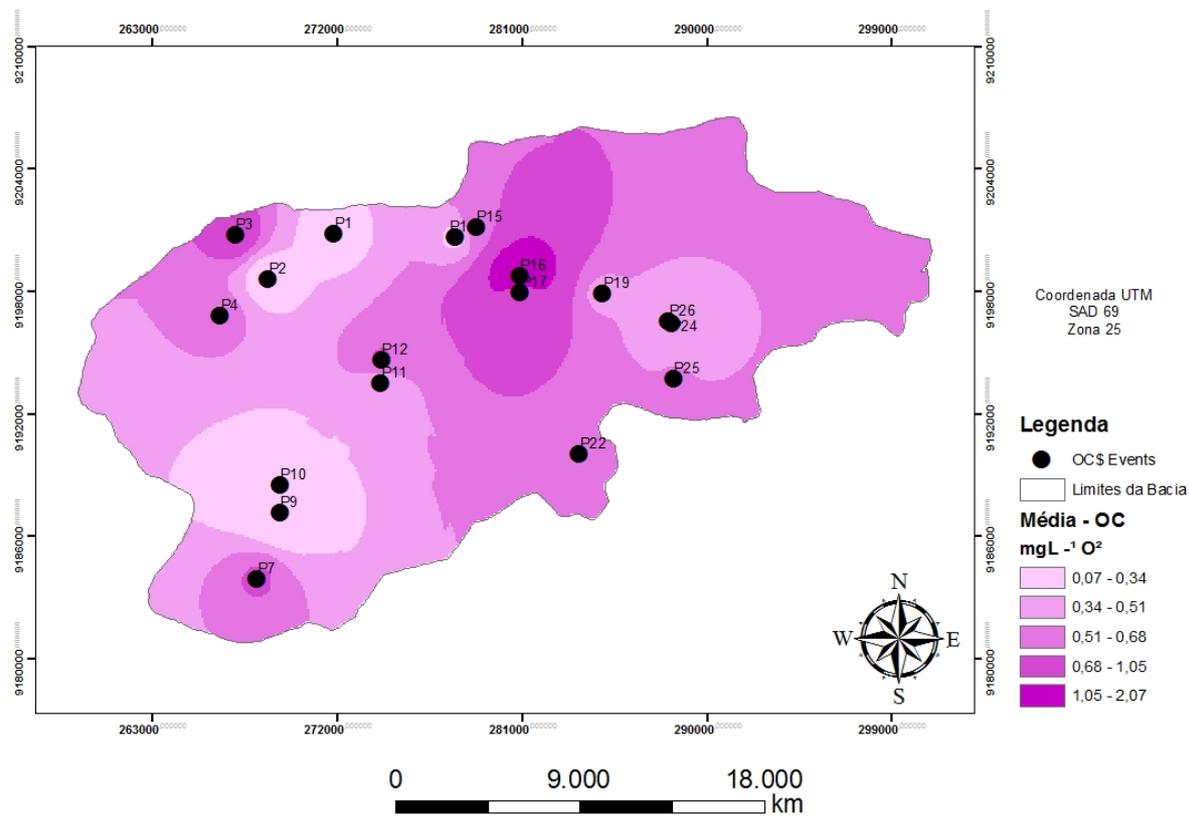


Figura 8 - Distribuição espacial do OC nos poços da bacia do rio Gramame

A distribuição do nitrato na água subterrânea da bacia do rio Gramame é apresentada na Figura 9. Verifica-se áreas bem distintas de concentração mais elevada do parâmetro citado.

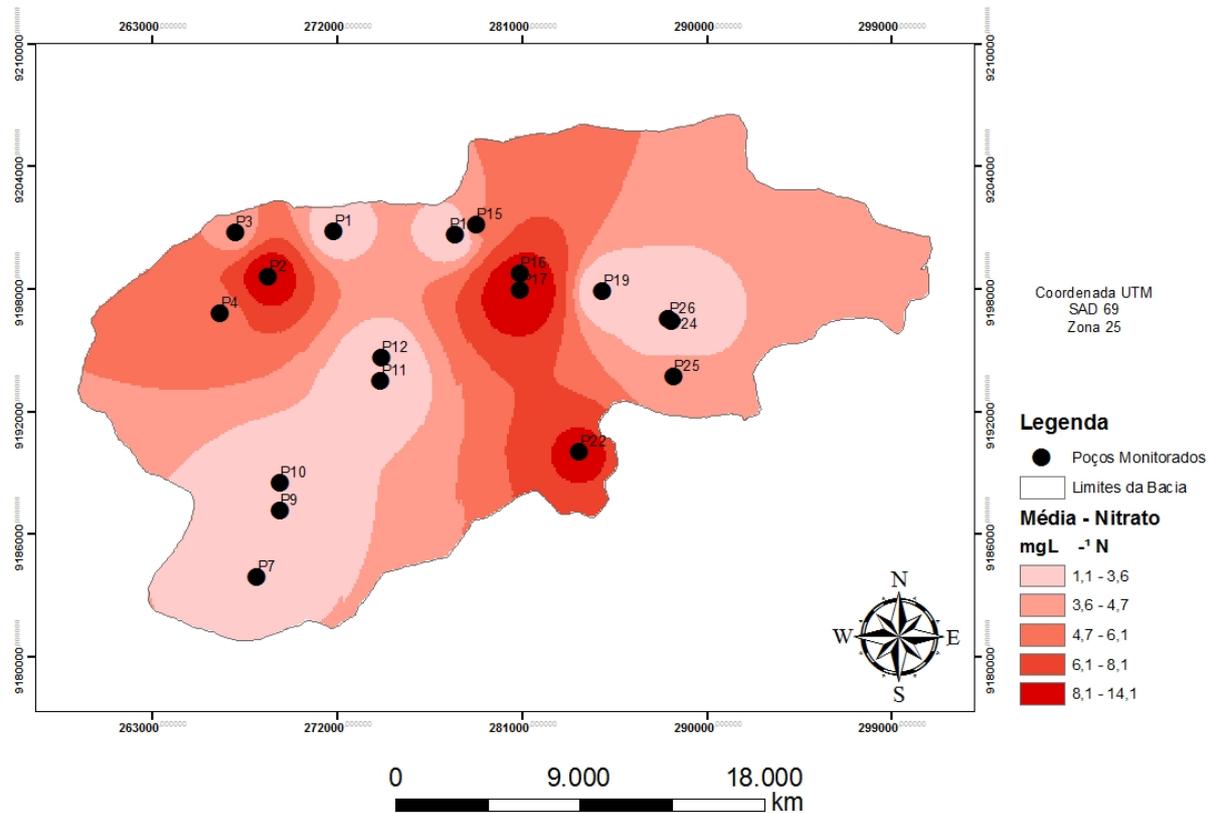


Figura 9 - Distribuição espacial de nitrato nos poços da bacia do rio Gramame

A Figura 10, apresenta o mapa de uso e ocupação do solo da bacia em estudo. Analisando as Figuras 9 e 10 conjuntamente, verifica-se que, onde foram detectados os maiores valores de nitrato (P2, P17 e P22), ocorre a plantação de cana-de-açúcar ou abacaxi. Essa constatação só vem a confirmar e justificar a hipótese já levanta sobre a relação entre a atividade agrícola na bacia do Gramame, com provável uso abusivo de fertilizantes e agrotóxicos, e a presença de nitrato na água subterrânea.

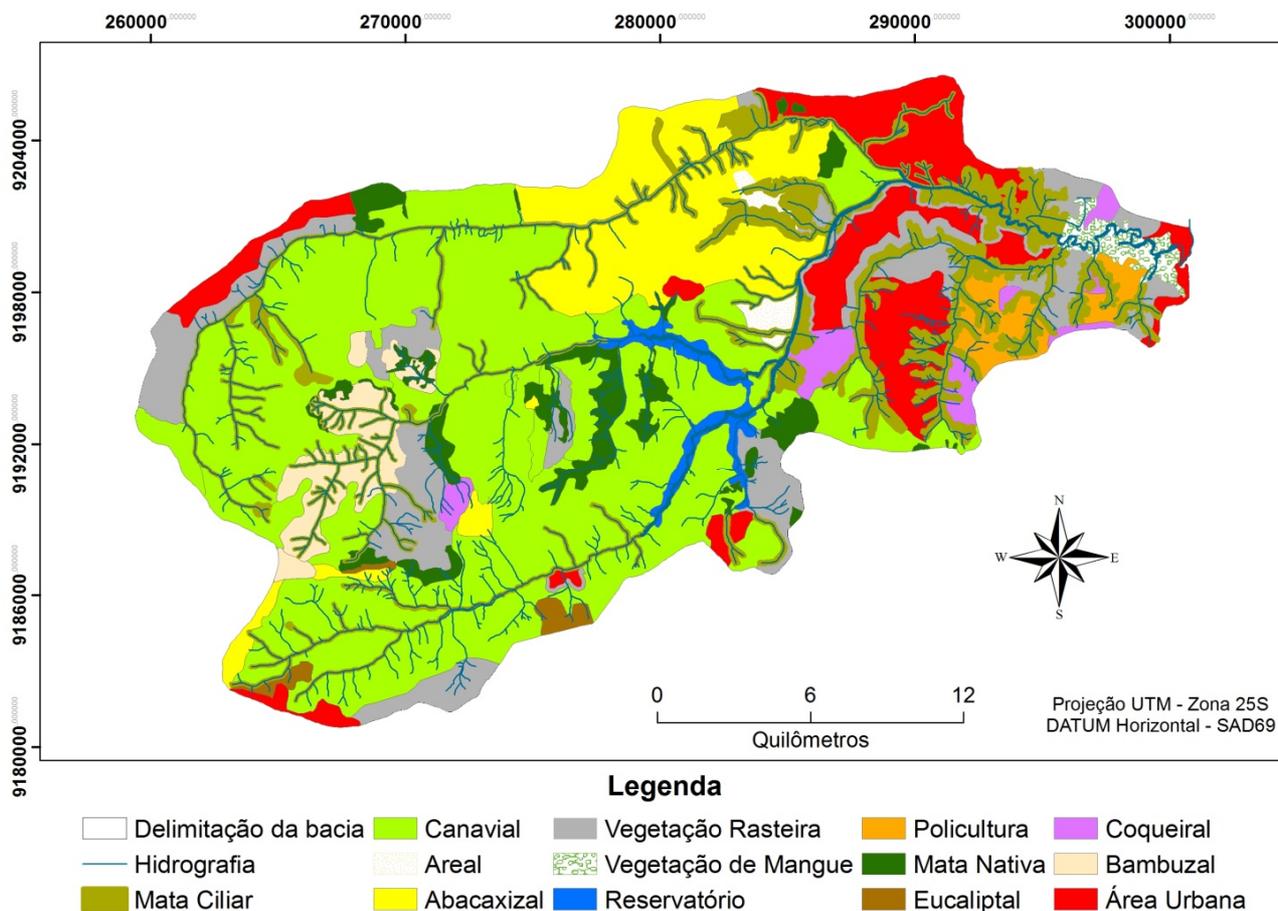


Figura 10 - Uso e ocupação do solo da bacia do rio Gramame

Fonte: Coelho (2010)

Tal problema pode ser ainda mais grave no período chuvoso, com a infiltração da água superficial contaminada por fertilizante a base de nitrogênio. Atingindo o lençol subterrâneo essa água superficial contaminada pode influenciar nos níveis de nitrato em poços de captação para consumo humano. Ao consumir água com altas concentrações de nitrato o organismo humano pode adquirir metemoglobinemia, principalmente em crianças, e câncer de estômago em adultos (Wolfe e Patz, 2002 apud Almasri & Kaluarachchi, 2004).

No sistema digestório o nitrato é transformado em nitrosaminas, que são substâncias carcinógenas. Crianças com menos de três meses de idade possuem, em seu aparelho digestivo, bactérias que reduzem o nitrato a nitrito. Este se liga muito fortemente a moléculas de hemoglobina, impedindo-as de transportarem oxigênio para as células do organismo. A deficiência em oxigênio leva a danos neurológicos permanentes, dificuldade de respiração (falta de ar) e em casos mais sérios à morte por asfixia. Aos seis meses de idade a concentração de ácido hidroclórico aumenta no estômago, matando as bactérias redutoras de nitrato.

Pesquisa realizada pela USEPA (*U. S. Environmental Protection Agency*) no decorrer do ano de 1992, em todo território norte-americano, constatou que cerca de 75 000 crianças com menos de dez meses de idade estavam expostas ao consumo de água com mais de 10 mg/l de nitrato.

#### 4.0 - Conclusões

O monitoramento da qualidade da água subterrânea da bacia do rio Gramame apontou valores baixos de DBO em quase todos os poços analisados. A espacialização desse parâmetro também mostrou que, em grande parte da bacia do rio Gramame a água subterrânea se apresenta com índices de DBO que não ultrapassam  $2,0 \text{ mgL}^{-1}$ , apesar das condições ambientais desfavoráveis no entorno de muitos poços.

O parâmetro OC também apresentou, na maioria dos poços cadastrados na bacia do rio Gramame, valores baixos. No entanto, a análise espacial revelou que, na região da bacia em que foram verificadas as maiores concentrações de DBO, também foram observados os menores de OC e vice – versa.

Apesar do padrão de variação do nitrato bastante semelhante entre os poços analisados, foi verificada em P2, P17 e P22 a presença de nitrato com valores mais elevados chegando a ultrapassar o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 396/2008 para água subterrânea. A análise espacial revelou que, onde foram detectados os maiores valores de nitrato (P2, P17 e P22), verifica-se a plantação de cana-de-açúcar ou abacaxi, com provável uso abusivo de fertilizantes e agrotóxicos.

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) para espacialização dos resultados obtidos, no monitoramento temporal da qualidade da água, através do método da interpolação de pontos, com o auxílio do ArcMap mostrou-se importante para detectar as áreas com tendência a apresentar problemas de contaminação da água subterrânea da bacia do rio Gramame, por nitrato.

## 5.0 – Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro provido de FINEP às Bacias Experimentais e Representativas de projeto do Semi-árido, e também reconhece o CNPq e CAPES por fomentar bolsas de estudos de no programa de pós-graduação em engenharia urbana e ambiental do centro de tecnologia da Universidade Federal da Paraíba.

## 6.0 - Referências

ALVES, E. C; SILVA, C. F. da; COSSICH, E. S; TAVARES, C. R. G; FILHO, E. E. de S; CARNIEL, A.

**Avaliação da qualidade da água da bacia do rio Pirapó – Maringá, Estado do Paraná, por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos.** Acta Sci. Technol. Maringá, v. 30, n. 1, p. 39-48, 2008.

ALMASRI, M. N; KALUARACHCHI, J. J. **Assessment and management of long-term nitrate pollution of ground water in agriculture-dominated watersheds.** Journal of Hydrology 295 (2004) 225–245 disponível em <[www.elsevier.com/locate/jhydrol](http://www.elsevier.com/locate/jhydrol)> acessado em 5 de março de 2011.

ALMASRI, M. N; KALUARACHCHI, J. J. **Modeling nitratecontamination of groundwater in agricultural watersheds.** Journal of Hydrology (2007) 343, 211– 229 disponível em <[www.elsevier.com/locate/jhydrol](http://www.elsevier.com/locate/jhydrol)> acessado em 5 de março de 2011.

BRASIL. **Resolução CONAMA n° 396/2008.** *Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.* Valores máximos permitidos para consumo humano.

BROERS, H. P; GRIFT, B. **Regional monitoring of temporal changes in groundwater quality.** Journal of Hydrology 296 (2004) 192–220 disponível em <[www.elsevier.com/locate/jhydrol](http://www.elsevier.com/locate/jhydrol)> acessado em 15 de março de 2011.

COELHO, V. R; ARAÚJO, U. T. M; MELO, D. de C. D; ALMEIDA, C. das N & SILANS, A. M. P. de, **ANÁLISE PRELIMINAR DA IMPLANTAÇÃO DE UMA REDE DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRAMAME – PB**, X Simposio de Recursos Hídricos do Nordeste – 2010.

FIGUEIREDO. J. A, GESIVALDO. Avaliação da presença de alumínio na água do sistema de abastecimento público da cidade de João Pessoa/PB e os possíveis riscos para a saúde da população. Mestrado em Engenharia urbana. João Pessoa/PB, 2004.

FEITOSA, F. A. C. (Organização). **Hidrogeologia – Conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM, 2008.

NAS, B; BERKTAY, A. **Groundwater contamination by nitrate in the city of Konia (Turkey): A GIS perspective**. Journal of Environmental Management – 79 (2006) 30-37 disponível em <[www.elsevier.com/locate/jenvman](http://www.elsevier.com/locate/jenvman)> acessado em 10 de Fevereiro de 2011.

PEÑA-HARO, S; PULIDO-VELAZQUES, M; SAHUQUILO, A. **A hydro-economic modelling framework for optimal management of groundwater nitrate pollution from agriculture**. Journal of Hydrology 373 (2009) 193–203 disponível em < [www.elsevier.com/locate/jhydrol](http://www.elsevier.com/locate/jhydrol)> acessado em 5 de março de 2011.

PDRH – Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gramame. SEMARH/SCIENTEC, 2000.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1995).