



Impactos da produção do arroz inundado na qualidade da água do rio Paraíba do Sul - trecho Taubaté, SP, Brasil (doi:10.4136/ambi-agua.124)

Murilo Henrique Andrade¹; Claudinei Fonseca Souza²; Antonio Claudio Testa Varallo¹; José Geanini Peres²

¹Universidade de Taubaté - UNITAU
Email: murilo.andrade@hotmail.com; antonio.varallo@yahoo.com.br

²Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR
Email: {cfsouza, jopepe}@cca.ufscar.br

RESUMO

O grande crescimento urbano, industrial e agrícola das cidades em toda a região de Taubaté, influi na qualidade da água do rio Paraíba do Sul. Considerando sua importância na qualidade de vida da população, no desenvolvimento econômico e na sustentabilidade ambiental, faz-se necessário manter controle mais rígido da qualidade da água do rio. Neste estudo, foram analisados atributos físicos, químicos e bioquímicos da água utilizada pela cultura do arroz e da água do rio Paraíba do Sul na região. As análises foram feitas durante o cultivo do arroz. Os resultados mostraram que a prática do cultivo do arroz favoreceu o aumento do nível de poluição do rio Paraíba do Sul. O cultivo de arroz carregou fertilizante e matéria orgânica para as águas do rio evidenciando a necessidade de controle da adubação para produção sob inundação.

Palavras-chave: irrigação por inundação; controle de poluição; recursos hídricos.

Impacts of irrigated rice production on the water quality of the Paraíba do Sul river - Taubaté region, SP, Brazil

ABSTRACT

The urban, industrial and agricultural growth of the cities across Taubaté region influences water quality of Paraíba do Sul river. Due to the importance for human life quality, economic development and environmental sustainability it is necessary to keep water quality control of this river. In this study, physical, chemical and biochemical attributes of rice cultivation were analyzed in the Paraíba do Sul river water in the Taubaté region. The analyses were made during the rice growing season. The results showed that the practice of rice cultivation increased the pollution level of Paraíba do Sul river. Due to rice cultivation, fertilizers and organic matter were introduced in the river waters demonstrating that fertilization practices require rigid control for wetland rice production.

Keywords: flood irrigation; pollution control; water resources.

1. INTRODUÇÃO

A água é uma das substâncias mais abundante encontrada na natureza cobrindo aproximadamente $\frac{3}{4}$ da superfície da Terra. Porém, alguns fatores limitam a quantidade de água disponível para o consumo humano tais como, a falta de planejamento dos espaços urbanos e industriais, o uso inadequado da água e a poluição.

O início do crescimento industrial no Vale do Paraíba foi de grande importância para o crescimento regional, assim como também foi responsável por grandes impactos no rio Paraíba do Sul. O crescimento, além de ocorrer rapidamente, localizou-se, principalmente, ao longo do eixo do rio, o que facilitou a utilização inadequada e abundante da água e o despejo de esgotos e efluentes. De acordo com a CETESB (2001), a poluição das águas é gerada por três fatores:

- efluentes domésticos (poluentes orgânicos biodegradáveis, nutrientes e bactérias);
- efluentes industriais (poluentes orgânicos e inorgânicos, dependendo da atividade industrial);
- carga difusa agrícola e urbana (poluentes advindos da drenagem dessas áreas: fertilizantes, defensivos agrícolas, fezes de animais e material em suspensão).

Segundo dados do IBGE (2000), dentre os 948 distritos do estado de São Paulo apenas 561 possuem tratamento de esgoto sanitário, 466 deles se utilizam de rios como corpo receptor. Além disso, os demais 345 distritos dos 387 que não possuem tratamento de esgoto sanitário também se utilizam de rios como o seu corpo receptor.

Como consequência desses fatos, a qualidade da água do rio Paraíba do Sul pode estar inadequada para utilização, não se limitando ao setor de abastecimento urbano e industrial, mas também no setor de irrigação e pecuária.

O setor de irrigação atua em conjunto com a agricultura, onde o uso descontrolado de fertilizantes e agrotóxicos colaboram para a poluição não somente dos solos como também de lençóis freáticos.

Especificamente na região de Taubaté (SP), dentre os usos e ocupação do solo que são potenciais causadores de impactos ambientais no rio Paraíba, está a orizicultura. A lavoura arrozeira irrigada é citada como grande consumidora de água, o volume aplicado chega a ultrapassar 15.000 m³ ha⁻¹ por ano agrícola (Beltrame e Louzada, 1991).

De acordo com Lichtenberger e Shapiro (1997), Weber et al. (2003) e Machado et al. (2006), o volume de água usualmente drenado de uma área cultivada com arroz irrigado por inundação, considerando-se uma lâmina média de 10 cm de altura, atinge aproximadamente 1.000 m³ ha⁻¹. Essa drenagem é prejudicial tanto para a rentabilidade do setor orizícola, quanto para o ambiente, pois, além da perda de água, podem-se contaminar os mananciais com nutrientes minerais e defensivos agrícolas.

Tendo em vista a importância do rio Paraíba do Sul não só para a região de estudo, mas para os três estados que compreendem a bacia hidrográfica (São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro), faz-se necessário a manutenção da qualidade, pois de acordo com Lalonde et al., (1996) os nutrientes, principalmente nitrogênio (N) e fósforo (P), presentes na água de drenagem, provenientes de lavouras de arroz irrigado favorecem a eutrofização dos mananciais e, conseqüentemente, o desenvolvimento de algas.

Com todos esses agravantes, é de extrema importância realizar análises para a avaliação dos atributos físico-químicos da água do rio Paraíba do Sul em pontos estratégicos da área de influência da orizicultura, em especial na cidade de Taubaté, avaliando-se os impactos da produção do arroz inundado sobre a qualidade da água. Por meio dessa avaliação, pode-se identificar o nível de poluição encontrada e saber se o despejo agrícola está alterando a qualidade da água e, conseqüentemente, a qualidade de vida da população.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi de avaliar alguns atributos físico, químico e bioquímico da água do rio Paraíba do Sul em pontos estratégicos da área de influência da orizicultura, em especial na cidade de Taubaté (SP), e os impactos da produção do arroz inundado sob a qualidade da água.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada dentro da sub-bacia hidrográfica do rio Quiririm, um dos afluentes do rio Paraíba do Sul, no município de Taubaté (SP) centrada nas coordenadas geográficas: latitude S 23°01'14", longitude O 45°38'30" e altitude de 500 m, com uma área correspondente a 50 ha (Figura 1). Nesta figura é possível visualizar os pontos de entrada e saída da água (captação de água no rio Quiririm para irrigar a cultura do arroz e seu despejo no rio Paraíba do Sul após a irrigação). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa (tropical de altitude, com inverno seco e chuvas de verão) (Moreira et al., 2005).



Figura 1. Imagem de Satélite dos Pontos 1 (entrada de água na cultura) e 2 (saída de água da cultura para despejo no rio Paraíba do Sul).

Fonte: Adaptado de Google Earth, 2009.

O arrozal em estudo utiliza a técnica de irrigação por inundação, na qual a gravidade é responsável pela circulação da água e a lâmina d'água mantida permanece entre 10 e 15 cm. O plantio é feito com sementes pré-germinadas. A área é subdividida em talhões com dimensões variáveis de 6,8 a 13 ha. A água utilizada para irrigação é captada do rio Quiririm, que é formado pela junção do córrego da Boçoroca e do Ribeirão Piracangaguá.

Antes do início do plantio foi realizada uma análise das características do solo quanto aos teores de macro e micronutrientes (Tabela 1). Essa análise foi realizada pelo laboratório Unithal, Campinas/SP.

Durante o ciclo da cultura de arroz foram utilizados fertilizantes para favorecer a produtividade, sendo eles, uréia e NPK na relação 20-00-20 (Tabela 2). Na tabela podem-se visualizar as datas, quantidades e repetições adotadas. A adubação foi feita a lanço, utilizando máquina. Para isso, fecha-se a saída e a entrada de água da quadra, em seguida, é feita a adubação, posteriormente é dado um descanso entre 4 e 5 dias para que o nível de água baixe, e para finalizar é liberada novamente a entrada de água na quadra. Lembramos que a irrigação é feita por gravidade e a lâmina d'água varia entre 10 e 15 cm. Além disso, ressalta-se que todas as práticas culturais foram realizadas pelo agricultor sem a interferência do estudo realizado.

Tabela 1. Análise prévia de macro e micronutrientes do solo do arroz irrigado.

| Macronutrientes | Unidade | Talhão | | | | | |
|-------------------------|------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | T02 | T03 | T04 | T05 | T06 | T07 |
| pH (CaCl ₂) | | 4,50 | 4,40 | 4,40 | 4,30 | 4,50 | 4,30 |
| pH (H ₂ O) | | 5,20 | 4,90 | 4,90 | 4,80 | 5,10 | 4,80 |
| pH (SMP) | | 5,95 | 5,95 | 5,95 | 5,85 | 5,90 | 5,70 |
| Hidrog. + Alum. | Cmol _c dm ⁻³ | 4,50 | 4,50 | 4,50 | 5,00 | 4,70 | 5,80 |
| Alumínio | Cmol _c dm ⁻³ | 0,30 | 0,80 | 0,90 | 0,90 | 0,50 | 0,70 |
| Cálcio | Cmol _c dm ⁻³ | 2,40 | 5,30 | 6,90 | 2,70 | 2,60 | 3,40 |
| Magnésio | Cmol _c dm ⁻³ | 1,00 | 2,10 | 2,50 | 1,20 | 1,00 | 1,40 |
| Potássio | Cmol _c dm ⁻³ | 0,10 | 0,22 | 0,27 | 0,15 | 0,13 | 0,24 |
| Fósforo (mehlich) | mg dm ⁻³ | 29,00 | 24,00 | 35,00 | 18,00 | 38,00 | 27,00 |
| Fóforo (resina) | mg dm ⁻³ | 56,00 | 51,00 | 72,00 | 37,00 | 74,00 | 56,00 |
| Carbono | g dm ⁻³ | 16,00 | 25,00 | 30,00 | 20,00 | 18,00 | 22,00 |
| Matéria Orgânica | % | 2,80 | 4,30 | 5,20 | 3,40 | 3,10 | 3,80 |
| Soma de bases (SB) | Cmol _c dm ⁻³ | 3,50 | 7,62 | 9,67 | 4,05 | 3,73 | 5,04 |
| Capac. Troca (CTC) | Cmol _c dm ⁻³ | 8,00 | 12,12 | 14,17 | 9,05 | 8,43 | 10,84 |
| Saturação Bases (V) | % | 43,75 | 62,87 | 68,24 | 44,75 | 44,25 | 46,49 |
| Micronutrientes | Unidade | | | | | | |
| Enxofre | mg dm ⁻³ | 11,40 | 17,20 | 34,00 | 9,00 | 9,90 | 18,20 |
| Sódio | mg dm ⁻³ | 10,00 | 21,00 | 28,50 | 14,00 | 11,00 | 22,00 |
| Boro | mg dm ⁻³ | 0,50 | 0,40 | 0,30 | 0,20 | 0,30 | 0,40 |
| Ferro | mg dm ⁻³ | 980,00 | 880,00 | 532,00 | 938,00 | 869,00 | 970,00 |
| Manganês | mg dm ⁻³ | 5,50 | 4,20 | 2,50 | 3,50 | 5,00 | 4,50 |
| Cobre | mg dm ⁻³ | 3,50 | 5,00 | 3,50 | 3,80 | 5,30 | 4,80 |
| Zinco | mg dm ⁻³ | 16,50 | 7,00 | 21,00 | 15,50 | 4,50 | 7,30 |

Tabela 2. Datas e quantidades de fertilizantes aplicados na cultura.

| Talhão n ^o | Área (ha) | 1 ^a adubação (Uréia) | | 2 ^a adubação (20-00-20) | | 3 ^a adubação (20-00-20) | |
|-----------------------|-----------|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| | | Data | Quantidade (kg ha ⁻¹) | Data | Quantidade (kg ha ⁻¹) | Data | Quantidade (kg ha ⁻¹) |
| 2 | 7,6 | 20/09/08 | 123 | 27/10/08 | 181 | 24/11/08 | 80 |
| 3 | 6,8 | 20/09/08 | 115 | 27/10/08 | 281 | ----- | ----- |
| 4 | 7,0 | 22/09/08 | 117 | 27/10/08 | 181 | ----- | ----- |
| 5 | 9,0 | 24/11/08 | 144 | 23/12/08 | 185 | ----- | ----- |
| 6 | 6,0 | 03/11/08 | 143 | 24/11/08 | 192 | ----- | ----- |
| 7 | 13,0 | 03/11/08 | 127 | 24/11/08 | 193 | ----- | ----- |

O trabalho exploratório consistiu em reconhecimento da área, utilizando GPS de navegação e câmera digital. Foi realizado caminhamento por toda a área, foram observados e registrados os pontos de amostragem para o estudo da qualidade de água. Para isso, levou-se em consideração a saída do aflente da área do cultivo de arroz.

A localização e a descrição dos pontos de coleta encontram-se na Figura 2.



Figura 2. Imagem de Satélite da região em estudo e dos pontos de amostragem para a análise da qualidade da água.

Fonte: Adaptado de Google Earth, 2009.

Os dois primeiros pontos de amostragem localizaram-se, respectivamente, na captação e despejo da água do arrozal, e os quatro pontos de amostragem seguintes localizaram-se no rio Paraíba do Sul; um ponto está a montante e os demais pontos a jusante do ponto de despejo da água do arrozal, distanciados, aproximadamente, por 1 km. Os locais das coletas foram georeferenciados com o propósito de dar precisão a localização para futuras análises e comparações.

- Ponto 1: Amostragem retirada na entrada da área de cultivo do arroz, no Distrito de Quiririm. Localização: S 23°01'35" e W 45°38'14" Elevação: 544 m (Figura 3).



Figura 3. Ponto 1 para amostragem da qualidade da água.

- Ponto 2: Amostragem retirada na saída da área de cultivo do arroz, no Distrito de Quiririm. Localização: S 23°00'57" e W 45°38'41" Elevação: 539 m (Figura 4).



Figura 4. Ponto 2 para amostragem da qualidade da água.

- Ponto 3: Amostragem retirada a, aproximadamente, 200 metros da Rodovia Floriano Rodrigues Pinheiros (SP-123), no Distrito de Quiririm. Localização: S 22°59'53" e W 45°38'22" Elevação: 540 m (Figura 5).



Figura 5. Ponto 3 para amostragem da qualidade da água.

- Ponto 4: Amostragem retirada próximo à obra da estação de tratamento de Taubaté - Tremembé. Localização: S 22°58'03" e W 45°35'16" Elevação: 539 m (Figura 6).



Figura 6. Ponto 4 para amostragem da qualidade da água.

- Ponto 5: Amostragem retirada ao lado esquerdo da ponte (jusante da cidade) de Tremembé. Localização: S 22°57'38" e W 45°33'18" Elevação: 537 m (Figura 7).



Figura 7. Ponto 5 para amostragem da qualidade da água.

• Ponto 6: Amostragem retirada a montante da saída da área de cultivo do arroz. Localização: S 23°00'47" e W 45°39'58" Elevação: 542 m (Figura 8).



Figura 8. Ponto 6 para amostragem da qualidade da água.

As amostras de água foram coletadas em recipientes de plástico de 5 litros e acondicionadas em caixa de isopor contendo gelo. Para as análises do oxigênio dissolvido (OD) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO), as amostras foram coletadas em frascos de vidro padrão para OD. Posteriormente, estas foram transportadas ao Laboratório de Análises de Água e Efluentes Líquidos da Universidade de Taubaté, onde foram realizadas as análises físicas, químicas e bioquímicas da água.

As variáveis limnológicas avaliadas foram às seguintes: condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo total (P), nitrogênio total (N), potencial hidrogênico (pH), e turbidez (UT). As coletas das amostras e análises foram realizadas semanalmente durante cinco meses, correspondentes ao período de plantio até a colheita da cultura do arroz, entre os meses de outubro de 2008 e fevereiro de 2009. São seis pontos distintos de coleta, totalizando 18 amostras (3 em cada ponto escolhido).

Fósforo Total e Nitrogênio Total: Os parâmetros fósforo total e nitrogênio total seguiram a metodologia proposta pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995) e pela Normatização técnica Cetesb, utilizando-se reagentes de grau analítico PA.

pH: Os valores de pH foram determinados pelo método eletrométrico, utilizando-se um pHmetro digital da marca Digimed, modelo DM - 23.

Condutividade Elétrica: Os valores da condutividade elétrica foram obtidos por meio de um condutivímetro da marca Digimed, modelo CD - 21.

Turbidez: As medidas de turbidez foram realizadas utilizando-se turbidímetro da marca Micronal, modelo B250.

OD e DBO_{5,20}: As determinações de oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio seguiram o método do eletro de membrana e foram determinados por um oxímetro digital da marca Digimed, modelo DM - 4P. DBO_{5,20} significa um período de tempo de 5 dias de incubação numa temperatura de 20°C.

Os dados encontrados foram comparados com os padrões da Resolução CONAMA (nº 357/05, Art.15) estabelecidos para águas doces da Classe 2.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para auxiliar as discussões, na Tabela 3 apresenta-se um esquema com as fases do cultivo do arroz e aplicação de nutrientes.

Tabela 3. Fases do Cultivo do Arroz e aplicação de nutrientes (Ano de 2008 e 2009).

| Ago | Set | Out | Nov | Dez | Jan | Fev |
|-----------------|--|--|--|----------|----------|-----|
| Preparo do Solo | | | | | | |
| | Inundação para sementeira Drenagem/Germinação | | | | | |
| | 1 ^o Adubação (Uréia) | 2 ^o Adubação (20-00-20) | 3 ^o Adubação (20-00-20) | | | |
| | | Inundação | | | | |
| | | | | Drenagem | | |
| | | | | | Colheita | |

A condutividade elétrica depende das concentrações iônicas e da temperatura e indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes. Em geral, níveis superiores a 100 $\mu\text{S cm}^{-1}$ indicam ambientes impactados (CETESB, 2001). Como podemos ver na Figura 9, o rio Paraíba apresentou variações ao longo de todo o percurso e durante todo o período estudado, porém nada significativo em função da água de despejo que recebe da cultura do arroz. Apresentou no dia 21/10 seu maior pico e uma média mais alta no período das chuvas, evidenciando que o carregamento de substância para o rio é maior nos períodos de maior precipitação. Já em relação às alterações ocorridas entre o Ponto 1 (captação da água para a orizicultura) e o Ponto 2 (água de despejo da cultura no rio Paraíba do Sul) Figura 10, não se observa uma constante perda ou ganho de qualidade de água devido ao uso pela cultura, mas vale ressaltar que no dia 26/11 houve um aumento da condutividade elétrica de 87 $\mu\text{S m}^{-1}$ do Ponto 2 em relação ao Ponto 1, devido à introdução de NPK e Uréia feita dois dias antes (Tabela 2), e observa-se também que em oito datas distintas a condutividade elétrica no Ponto 2 está superior ao Ponto 1, em contrapartida o Ponto 1 apresentou dois valores acima do Ponto 2, nos dias 24/09 e 29/10, evidenciando assim que a água captada (rio Quiririm) para cultura recebe cargas poluidoras a montante de sua captação, que pode contribuir de forma negativa para qualidade da água do rio Paraíba.

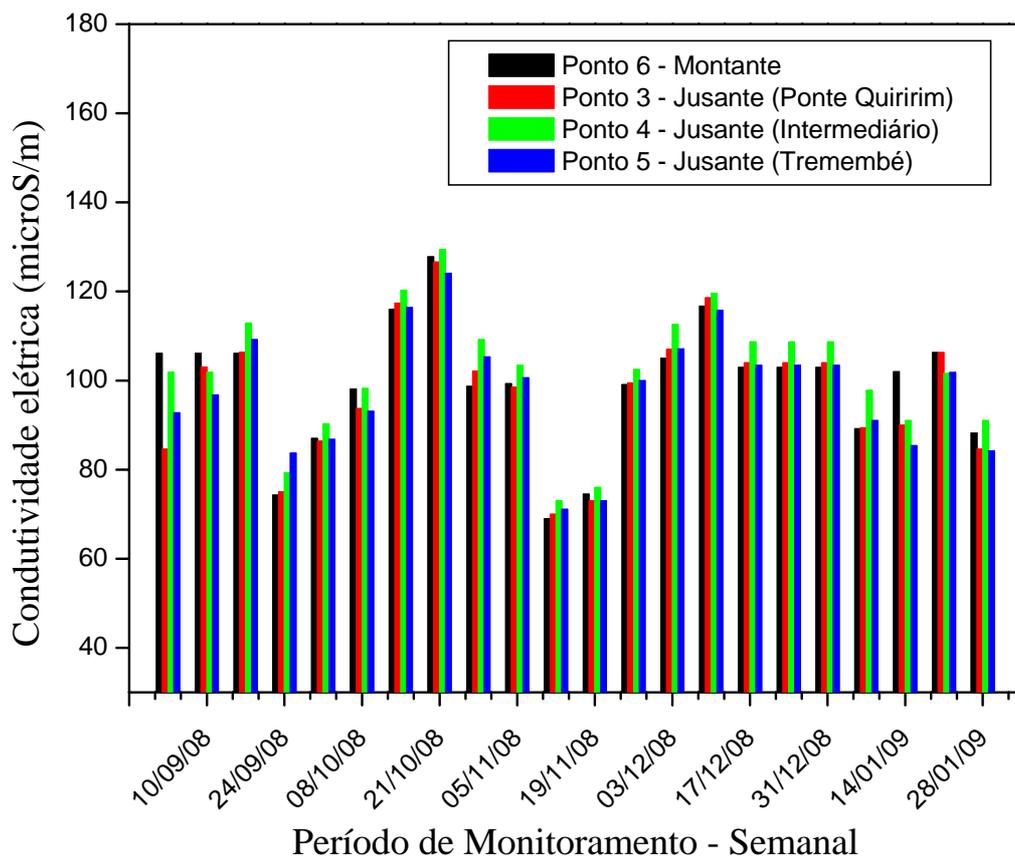


Figura 9. Evolução da CE da água ao longo do período de monitoramento no rio Paraíba do Sul.

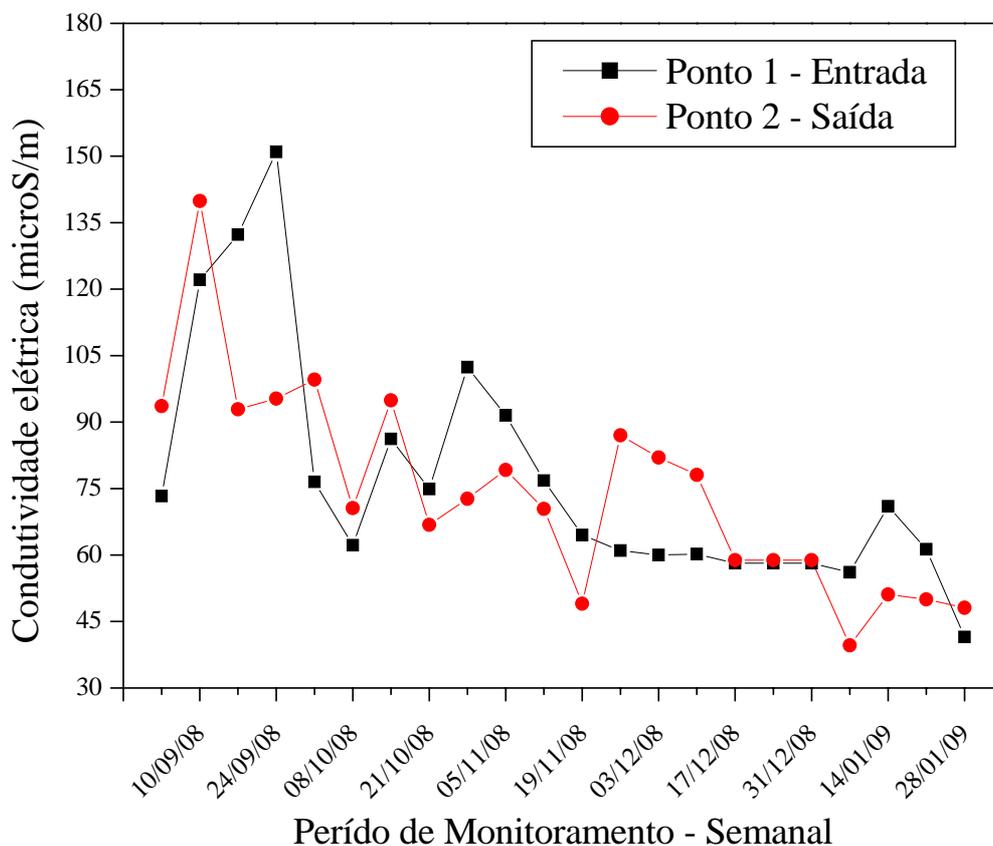


Figura 10. Evolução da CE da água ao longo do período de monitoramento para os pontos de entrada e saída da área de cultivo do arroz.

O oxigênio dissolvido (OD) é indispensável à sobrevivência dos organismos aeróbios. A água, em condições normais, contém oxigênio dissolvido cujo teor de saturação, pela lei de Henry, depende da pressão parcial de vapor do gás e da temperatura. Assim, águas com baixos teores de oxigênio dissolvido indicam que receberam matéria orgânica; pois a decomposição da matéria orgânica pelas bactérias aeróbias é acompanhada pelo consumo e redução do oxigênio dissolvido da água e, dependendo da capacidade de autodepuração do manancial, o teor de oxigênio dissolvido pode alcançar valores baixos, ou mesmo zero, extinguindo-se os organismos aquáticos aeróbios.

De acordo com a Figura 11, segundo a resolução CONAMA 357, observa-se que os teores de oxigênio dissolvido (OD) só estão dentro do teor estipulado para rios de classe 2 nos meses de setembro e dezembro.

Observa-se também que durante todo período de monitoramento, sistematicamente os teores encontrados no Ponto 6 encontraram-se superiores aos demais, demonstrando que a água nos pontos a jusante tem sofrido maiores impactos. Em contrapartida, os teores encontrados no Ponto 5 apresentam-se sempre acima dos teores dos Pontos 3 e 4, demonstrando por sua vez o poder de autodepuração do rio Paraíba do Sul.

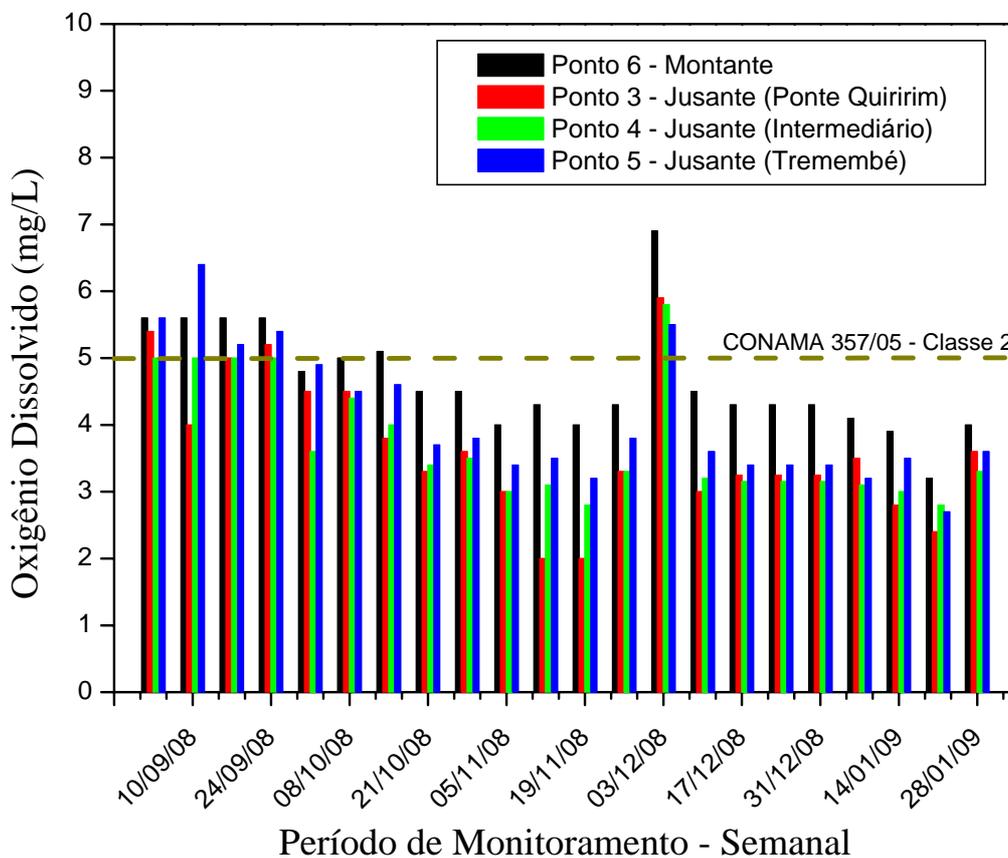


Figura 11. Evolução do OD na água ao longo do período de monitoramento do rio Paraíba do Sul.

Os resultados obtidos demonstram que o rio está em condições limitadas para a vida aquática e as irregularidades observadas acontecem devido à sensibilidade desse parâmetro em relação à interferências antrópica.

Na Figura 12, pode ser observada uma diferença nos teores de OD entre os Pontos 1 e 2, a qual pode ser explicada pelo consumo de oxigênio por parte da cultura do arroz inundado.

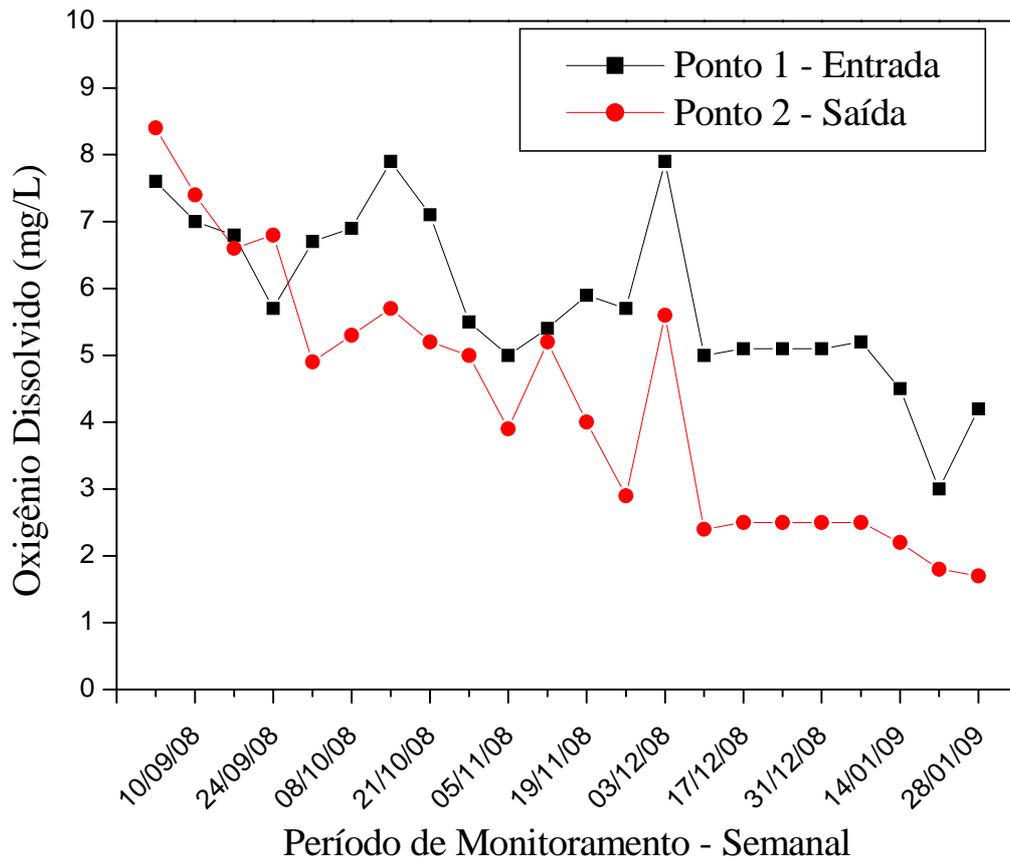


Figura 12. Evolução do OD na água ao longo do período de monitoramento para os pontos de entrada e saída da área de cultivo do arroz.

Os maiores aumentos em termos de $DBO_{5,20}$, num corpo d'água, são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica, isso pode induzir à completa extinção do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática (CETESB, 2001).

Na Figura 13, pode se observar que ocorreram variações significativas das leituras de $DBO_{5,20}$ entre os meses monitorados, em que a maior variação encontrada foi a do mês de dezembro. No entanto, pode-se observar que os teores encontrados foram todos inferiores a 5 mg L^{-1} , estando, assim, dentro do que é exigido pela resolução CONAMA 357 (Brasil, 2005) para rios de classe 2. O rio Paraíba do Sul é considerado, pela classificação de corpos hídricos, um rio de classe 2 e, de acordo com o CONAMA e a CETESB, teores acima de 5 mg L^{-1} são considerados elevados quando se trata de água para o consumo humano. Outra observação é referente ao ponto de coleta 4, o qual retrata o lançamento de efluentes líquidos sem o devido tratamento oriundo da cidade de Taubaté. As leituras de $DBO_{5,20}$ para esse ponto sempre estão acima dos demais pontos, principalmente em relação ao Ponto 5, revelando o poder de autodepuração do rio.

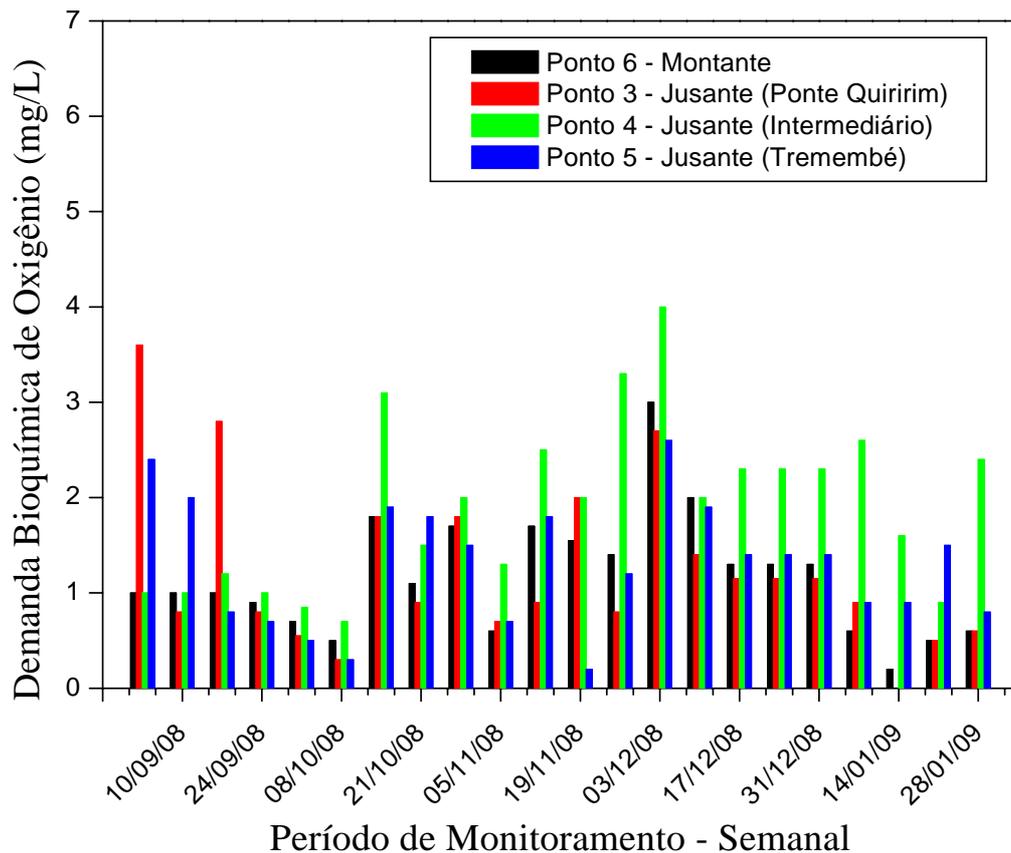


Figura 13. Evolução da $DBO_{5,20}$ ao longo do período de monitoramento do rio Paraíba do Sul.

A Figura 14 apresenta uma comparação entre os teores de $DBO_{5,20}$ nos Pontos 1 e 2 (entrada e saída de água da área de cultivo do arroz). Foi possível observar que, no início do ciclo, a prática do cultivo do arroz contribui para a poluição do rio Paraíba do Sul, no qual é lançado um efluente com carga orgânica proveniente da adubação e manejo da cultura até o mês de outubro.

Segundo Sperling (1996), teores elevados de P total podem ser utilizados como indicadores do estado eutrófico de lagos, sendo teores acima de $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ indicativos de eutrofização. No Brasil, os esgotos sanitários apresentam concentrações de fósforo normalmente nas faixas de 6 a 10 mg L^{-1} (Piveli e Kato, 2005).

Na Figura 15, os teores de fósforo apresentados se mantiveram quase todos acima do teor permitido pela legislação (CONAMA 357), que é menor ou igual a $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ para rios “classe 2” em ambiente lótico, e observou-se que os teores mais altos foram registrados no mês de novembro, sendo $0,30$ e $0,26 \text{ mg L}^{-1}$ nos Pontos 6 e 5 respectivamente. Esses pontos se caracterizam por receber maior contribuição de carga orgânica oriundas do lançamento de esgoto doméstico.

Segundo Chapman (1992, apud Peláez-Rodríguez, 2001), as concentrações de fósforo, na maioria das águas naturais, encontram-se entre $0,005 \text{ mg L}^{-1}$ e $0,020 \text{ mg L}^{-1}$. O menor teor de fósforo total encontrado nas águas foi de $0,06 \text{ mg L}^{-1}$ no Ponto 3, no mês de setembro.

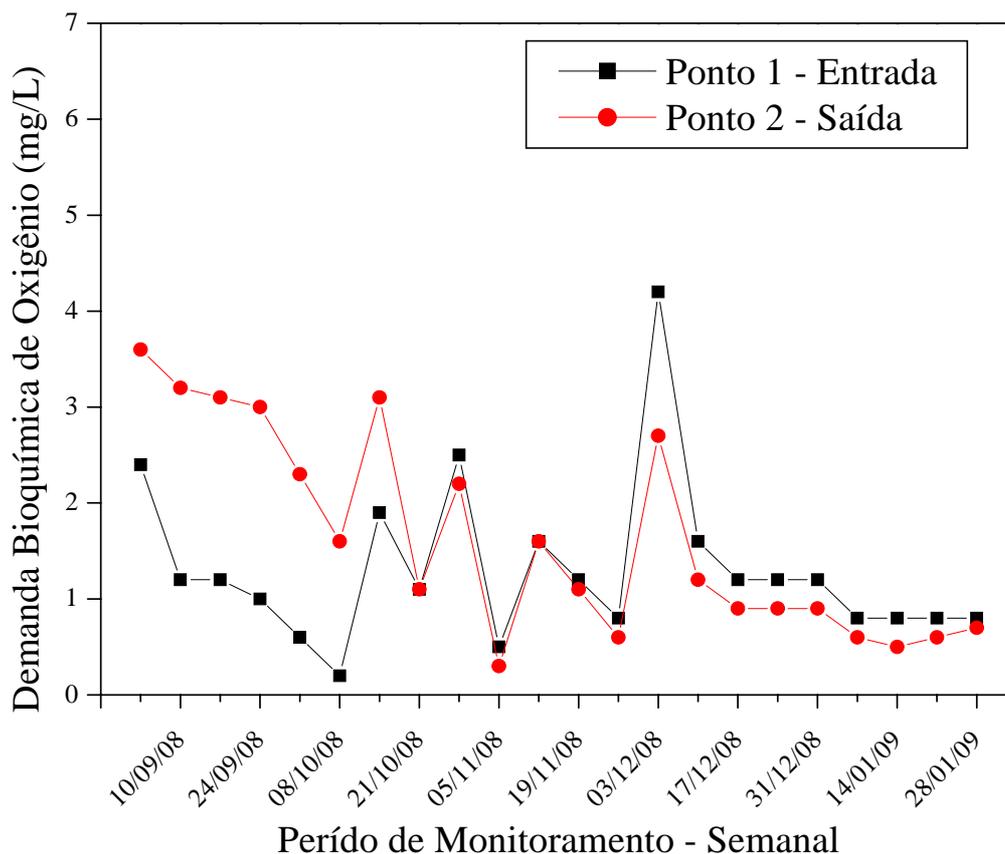


Figura 14. Evolução da DBO_{5,20} ao longo do período de monitoramento para os pontos de entrada e saída da área de cultivo do arroz.

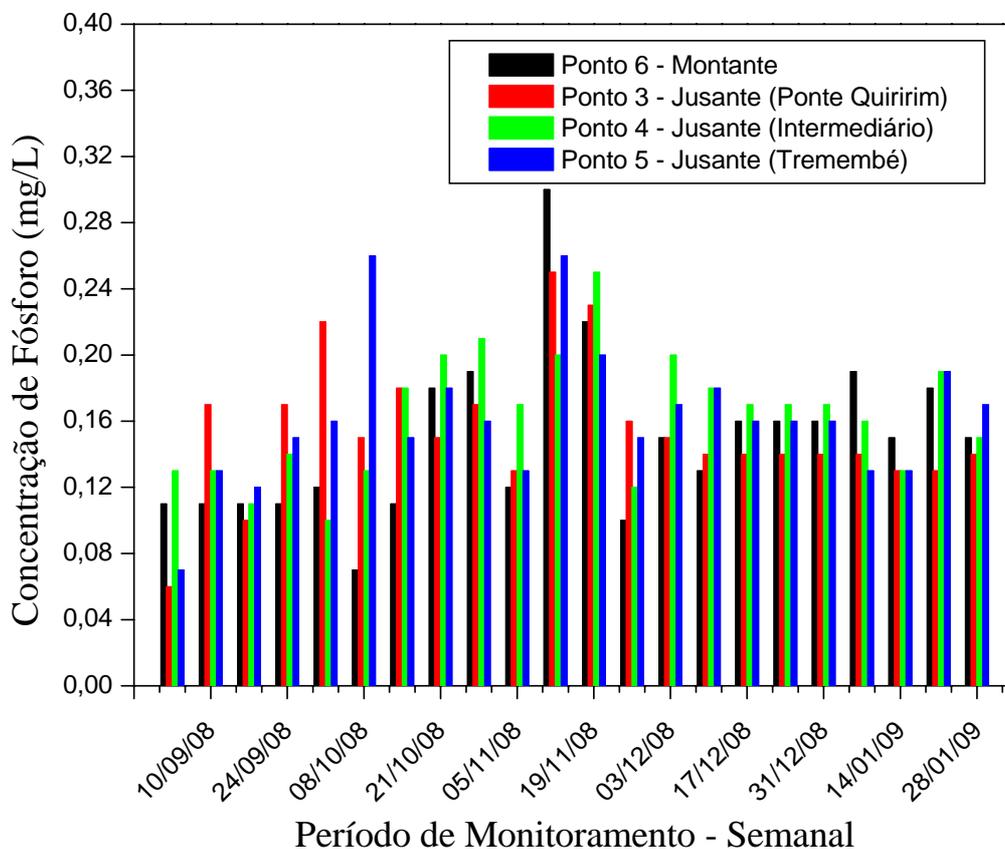


Figura 15. Evolução dos teores de fósforo total ao longo do período de monitoramento do rio Paraíba do Sul.

Observam-se, na Figura 16, dois aumentos nos teores de fósforo total, o primeiro no Ponto 2 (saída da área de cultivo) e o segundo no Ponto 1 (entrada da área de cultivo), os quais caracterizam, respectivamente, o manejo inadequado da cultura em função dos teores de fósforo encontrados no solo (Tabela 1) e/ou a presença de esgoto doméstico na água de irrigação. Essas observações resultam no aumento do teor de fósforo total na água por diferentes fontes de contaminação, prejudicando a qualidade da água do rio Paraíba do Sul pelo processo de eutrofização.

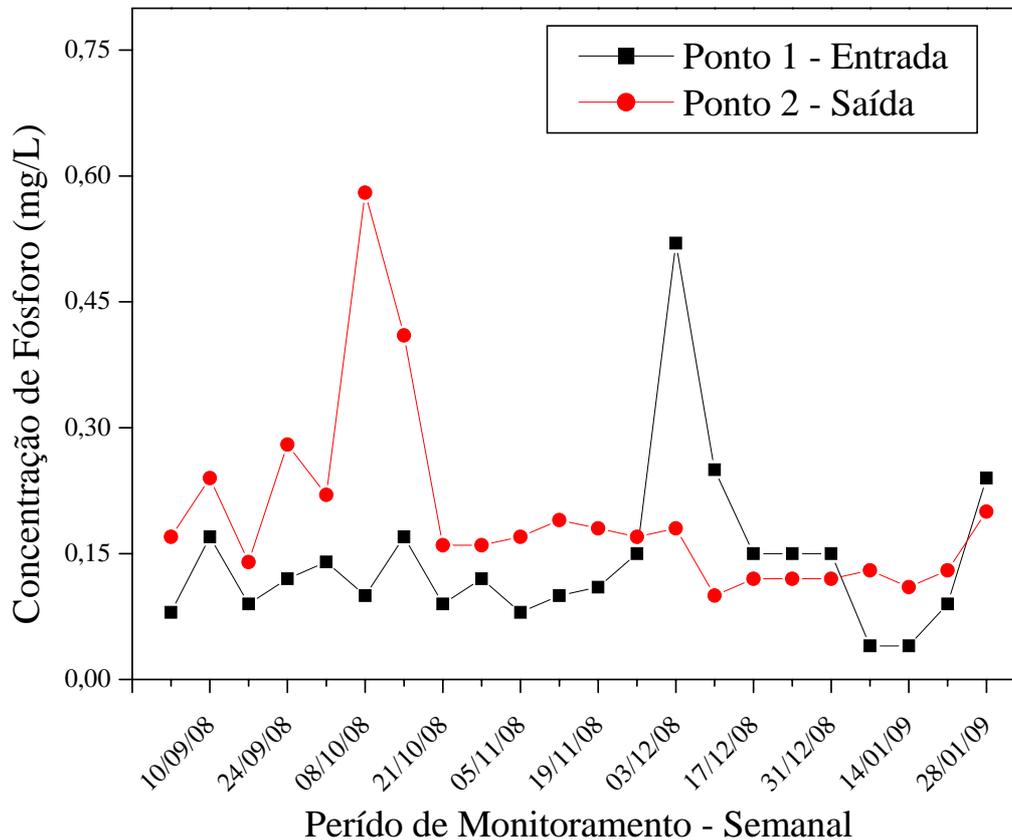


Figura 16. Evolução dos teores de fósforo total ao longo do período de monitoramento para os pontos de entrada e saída da área de cultivo do arroz.

O maior teor de nitrogênio total foi $0,58 \text{ mg L}^{-1}$, observado no mês de outubro no Ponto 4 (Figura 17). De acordo com a resolução CONAMA 357, para valores de pH menores ou iguais a 7,5, não são aceitáveis teores de nitrogênio amoniacal superiores a $3,7 \text{ mg L}^{-1}$. Entretanto, no período de adubação da cultura do arroz foi observado um pico no teor de nitrogênio total na saída da área (Figura 18), devido à adubação feita quatro dias antes (Tabela 2), em que foi acrescentada, ao meio, Uréia (composto rico em nitrogênio), na proporção de 115 kg ha^{-1} , o qual caracteriza uma fonte de contaminação e desperdício de recursos naturais. Esse pico no teor de nitrogênio total observado representa um aumento de 153% em relação à média das coletas realizadas na entrada da área ($\text{N-total} = 0,52 \text{ mg L}^{-1}$).

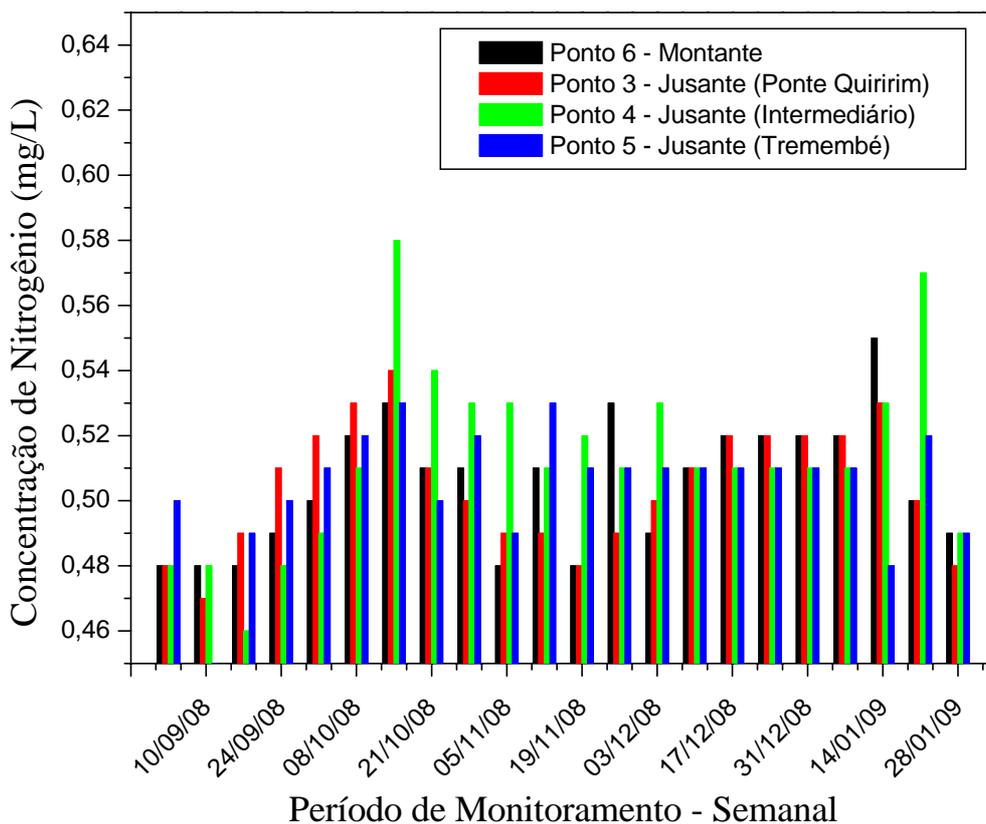


Figura 17. Evolução dos teores de nitrogênio total ao longo do período de monitoramento do rio Paraíba do Sul.

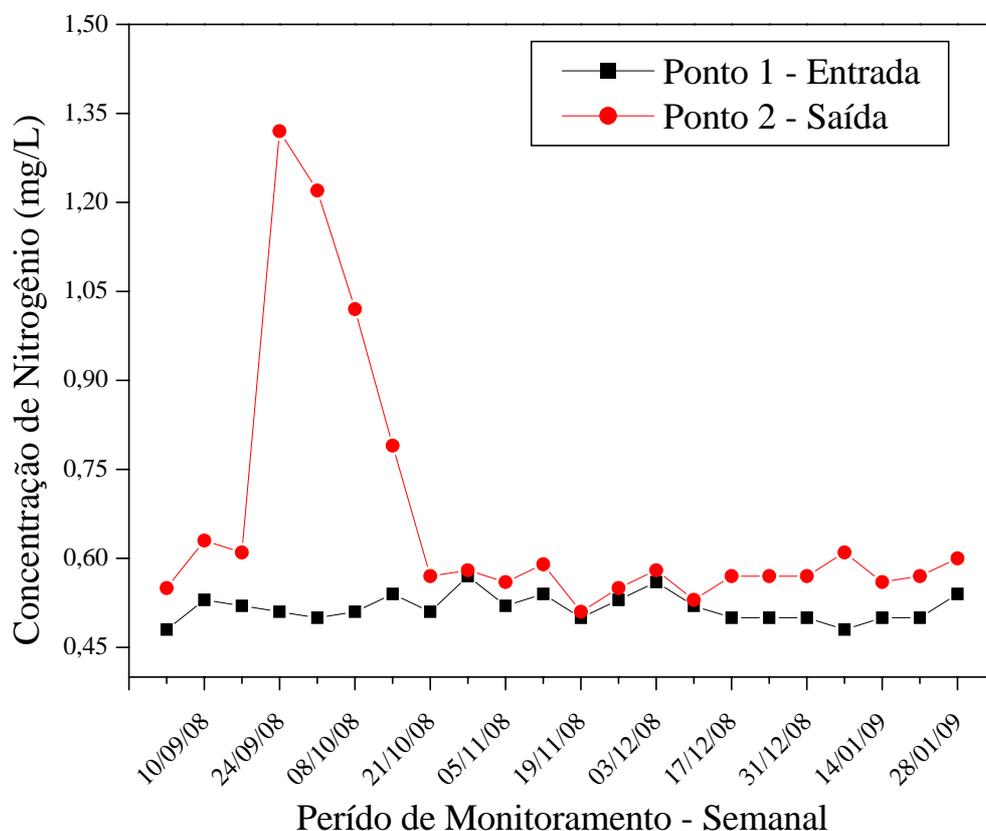


Figura 18. Evolução dos teores de nitrogênio total ao longo do período de monitoramento para os pontos de entrada e saída da área de cultivo do arroz.

Por influir em diversos equilíbrios químicos que ocorrem naturalmente ou em processos unitários de tratamento de águas, o pH é um parâmetro importante em muitos estudos no campo do saneamento ambiental (CETESB, 2001). Na Figura 19, nota-se que os valores do pH do rio Paraíba (Pontos 3, 4, 5 e 6) se mantiveram aceitáveis, porém bem próximos ao limite inferior da legislação (CONAMA 357) que é > 6 e < 9 . Isso, porém, não é visto no Ponto 2 (água de despejo da cultura no rio Paraíba), pois nos dias 10/09, 21/10, 19/11 a água apresentou valores de pH abaixo de 6 e, no período final da cultura a partir do dia 12/12 devido à decomposição da matéria orgânica da orizicultura que libera CO_2 na água baixando os níveis de pH, a água se manteve com valores de pH abaixo de 6 (Figura 20). Demonstrando que a água está perdendo qualidade e, conseqüentemente, contribuindo com a poluição do rio Paraíba do Sul.

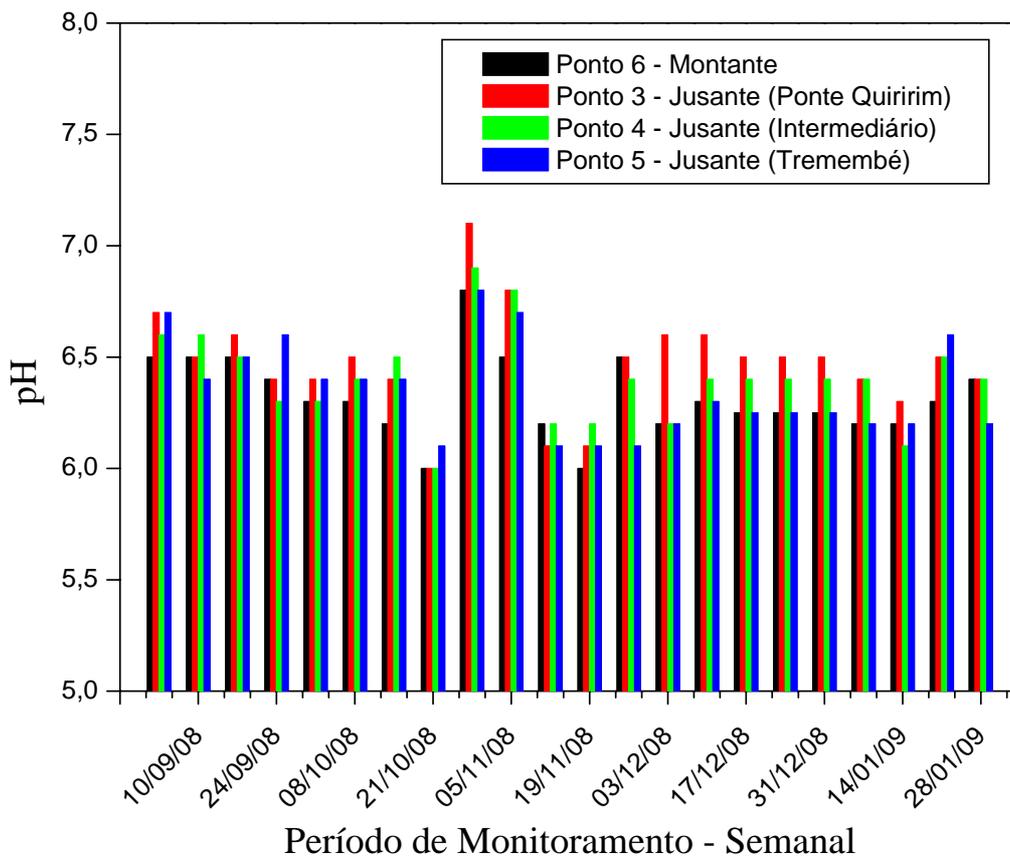
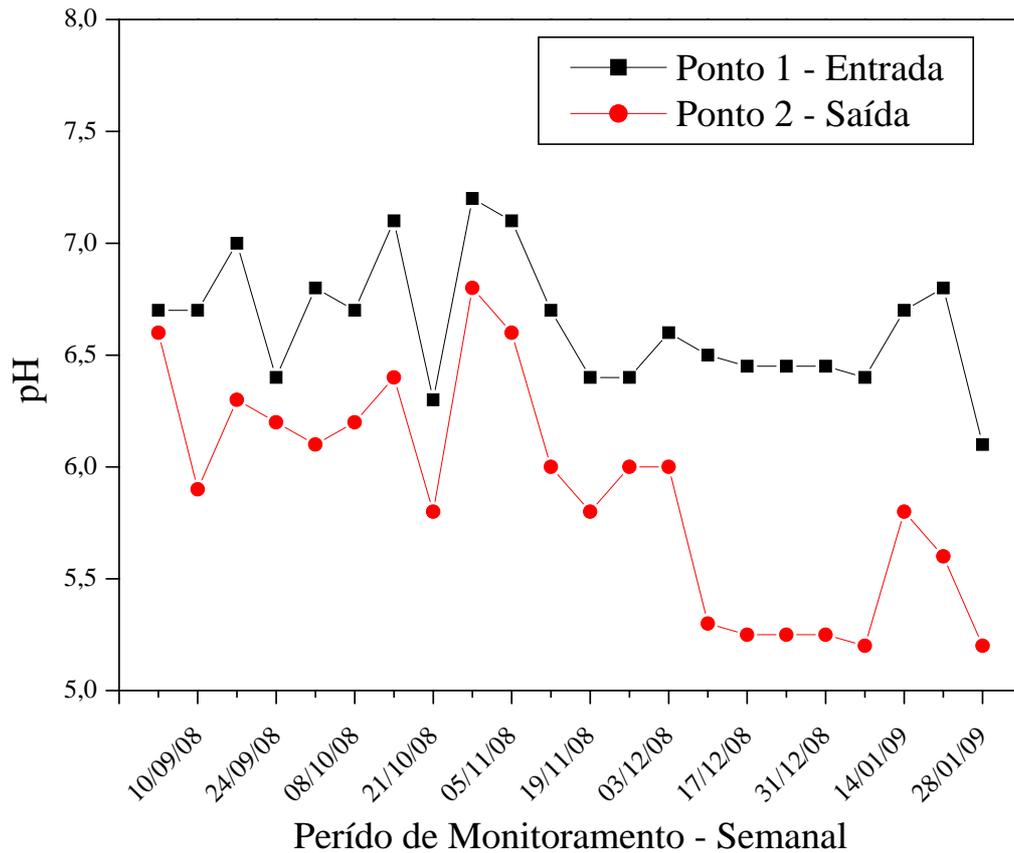


Figura 19. Evolução do pH ao longo do período de monitoramento do rio Paraíba do Sul.

A turbidez é causada por matérias sólidas em suspensão (silte, argila, coloides, matéria orgânica, etc.) na água. A Figura 21 apresenta a variação desse parâmetro ao longo do monitoramento, em que se observa que, no período de setembro a novembro, os sólidos presentes na água são menores e, a partir da segunda quinzena de novembro, um aumento é constatado devido à falta de manejo conservacionista dos solos na região que, conseqüentemente, promove o arrastamento de sedimentos para o rio com a intensificação do período chuvoso.



Na Figura 22 é notado, mais uma vez, que a prática do cultivo da cultura de arroz pelo sistema de inundação está promovendo uma fonte de contaminação para o rio na forma de transporte de sedimentos e nutrientes oriundos da adubação vista na Tabela 3.

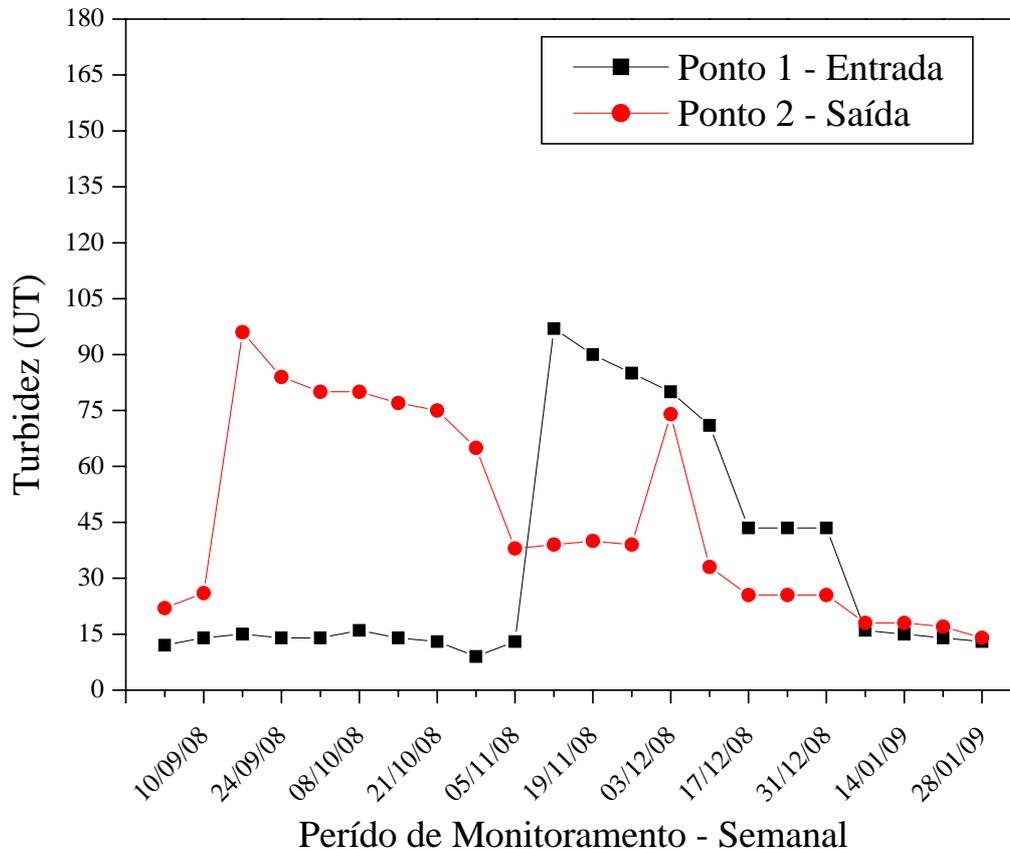


Figura 22. Evolução da turbidez ao longo do período de monitoramento para os pontos de entrada e saída da área de cultivo do arroz.

4. CONCLUSÕES

- A prática do cultivo da cultura do arroz inundado favoreceu o aumento da carga poluidora do rio Paraíba do Sul.

- O cultivo de arroz inundado carregou fertilizantes e matéria orgânica para dentro do corpo hídrico, principalmente, no período inicial (setembro a outubro), evidenciando a necessidade de um manejo racional da água em razão da condução da adubação.

- Apesar dessa contribuição, a DBO (demanda bioquímica de oxigênio) foi observada dentro dos padrões exigidos pelos órgãos fiscais do Estado, o que mostra que a qualidade do rio, mesmo comprometida, ainda se encontra em condições de ser recuperada. Para isso, torna-se essencial uma política rígida de tratamento dos efluentes industriais, domésticos e efluentes gerados pela agricultura e pecuária que são despejados diariamente nas águas do rio.

5. REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 19. ed. Washington, DC: APHA, 1995.

BELTRAME, L. S.; LOUZADA, J. A. Water use rationalization in Rice irrigation by flooding. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON EFFICIENT WATER USE, 1., 1991, Cidade do México. **Anais...** Cidade do Mexico: IWRA, 1991. p.337-345.

ANDRADE, M. H.; SOUZA, C. F.; VARALLO, A. C. T.; PERES, J. G. Impactos da produção do arroz inundado na qualidade da água do rio Paraíba do Sul - trecho Taubaté, SP, Brasil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 5, n. 1, p. 114-133, 2010. (doi:10.4136/ambi-agua.124)

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução Conama no 357**. 2005. Disponível em: <www.mma.conama.gov.br/conama>. Acesso em: 20 jul. 2009.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Água: – rios e reservatórios**. 2001. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/informacoes.asp>>. Acesso em: 20 jul. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa nacional de saneamento básico**. 2000. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoadevida/pnsb/esgotamento_sanitario/esg_sanitario50.shtm>. Acesso em: 21 jul. 2009.

LALONDE, V.; MADRAMOOTOO, C. A.; TRENHOLM, L.; BROUGHTON, R. S. Effects of controlled drainage on nitrate concentrations in subsurface drain discharge. **Agricultural Water Management**, v. 29, p. 187-199, 1996.

LICHTENBERGER, E.; SHAPIRO, L. K. Agriculture and nitrate concentrations in Maryland Community water system wells. **Journal Environmental Quality**, v. 26, n.1, p.145–152, 1997.

MACHADO, S. L. O.; MARCHEZAN, E.; RIGHES, A. A.; CARLESSO, R.; VILLA, S. C. C.; CAMARGO, E. R. Consumo de água e perdas de nutrientes e de sedimentos na água de drenagem inicial do arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 36, n. 1, p. 65-71, 2006.

MOREIRA, M. A.; RUDORFF, B. F. T.; FELÍCIO, J. C.; FREITAS, J. G.; TARGA, M. S. Variação espectral e eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa em ensaio com genótipos de trigo. **Bragantia**, v. 64, n. 3, p. 331-338, 2005.

PELÁEZ-RODRÍGUEZ, M. **Avaliação da qualidade da água da bacia do Alto Jacaré-Guaçu/SP (Ribeirão do Feijão e rio do Monjolinho) através de variáveis físicas, químicas e biológicas**. 2001. 147f Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

PIVELI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos**. São Paulo: ABES, 2005. 285p.

SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: UFMG, 1996. 243p.

WEBER, L.; MARCHEZAN, E.; CARLESSO, R.; MARZARI, V. Cultivares de arroz irrigado e nutrientes na água de drenagem em diferentes sistemas de cultivos. **Ciência Rural**, v. 33, p. 27-33, 2003.