



**IV-121 - FONTES DE CONTRIBUIÇÃO DE FÓSFORO EM RIOS E  
RESERVATÓRIOS TROPICAIS COM APROVEITAMENTOS  
HIDRELÉTRICOS:  
ESTUDO DE CASO NA BACIA DO RIO ARAGUARI/MG**

**Ana Lúcia Bahia Lopes** <sup>(1)</sup>

Engenheira Civil. Mestranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG. Analista Ambiental da fundação Estadual do Meio Ambiente.

**Sílvia Corrêa Oliveira**

Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG). Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

**Eduardo von Sperling**

Doutor em Ecologia Aquática (Universidade Técnica de Berlim). Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Alameda Iaci, 325 – Casa Branca – Brumadinho – MG – CEP: 35469-000 – Tel. (31) 35753490326 - e-mail: [ana.bahia@meioambiente.mg.gov.br](mailto:ana.bahia@meioambiente.mg.gov.br)

## **RESUMO**

A área de estudo selecionada, Bacia Hidrográfica do rio Araguari possui grande importância no Estado de Minas Gerais por seu grande potencial para geração de energia hidráulica e por possuir as três reservas minerárias mais importantes de fosfato, tendo suas nascentes no Parque da Serra da Canastra, no município de São Roque de Minas. Possui quatro reservatórios situados em cascata, sendo o maior deles, o de Nova Ponte situado no Alto curso do rio Araguari, projetado para regularização de vazões.

A área de contribuição das quatro estações de qualidade da água localizadas a montante de Nova Ponte é de 9.905,08 Km<sup>2</sup>, sendo distribuída em 50%, 36%, 13% e 1%, respectivamente nos rios Quebra-Anzol, Araguari, Capivara e Santo Antônio. A variação sazonal da concentração e da carga de fósforo é fortemente influenciada no período chuva, com o incremento das duas variáveis. Observa-se que i) Os rios Capivara e Araguari possuem as maiores concentrações de Fósforo Total no período de chuva, seguidos pelo rio Quebra-Anzol e Santo Antonio; ii) já com relação à carga deste nutriente a maior contribuição é do Rio Quebra-Anzol seguida pelos Rios Araguari, Capivari e Santo Antônio.

O conhecimento sobre a variação das concentrações e cargas de fósforo e os principais usos da terra permite avaliar as maiores pressões exercidas nas estações de amostragem estudadas.

O balanço de massa de fósforo total aplicado aos reservatórios de Nova Ponte e Miranda permite conhecer o comportamento – entrada e saída, retenção e exportação deste nutriente nos reservatórios, comparados de forma simplificada como caixa preta – não são consideradas as alterações ocorridas no interior destes ambientes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Nutriente, Fósforo Total, eutrofização, Balanço de Massa, Reservatórios Tropicais.

## **INTRODUÇÃO**

A qualidade da água e produtividade de um reservatório são controlados pela quantidade e qualidade dos nutrientes externos e internos. As características dos *inputs* externos depende do clima local, morfologia do reservatório, geologia e uso do solo na bacia de drenagem (Kennedy & Walker, 1990). O conhecimento das fontes de fósforo em áreas de drenagem em ambientes sensíveis, tais como reservatórios, é um dos mais importantes instrumentos para a gestão destes sistemas aquáticos. Isto é particularmente verdade no caso do Estado de Minas Gerais, devido a seu grande potencial de geração de energia hidráulica.

Além de se inserir neste contexto, a bacia hidrográfica do Rio Araguari possui as três reservas minerárias mais importantes de fosfato, localizadas nos municípios de Araxá, Tapira, Patrocínio e Serra do Salitre – Complexo Alcalino – Carbonatítico. Não só nesta bacia, como também em todo o estado, o índice de desconformidade de fósforo tem sido o mais elevado.



A investigação de fontes de contribuição de fosfato situadas na bacia do Rio Araguari adquire importância devido ainda à existência de quatro reservatórios de médio e grande porte, localizados no médio e baixo segmento deste corpo d'água, destinados à produção de energia elétrica, os quais favorecem a instalação de processos de eutrofização devido à sua influência nas condições de escoamento da água.

As contribuições de fósforo de maior relevância na bacia localizam-se no alto curso do Rio Araguari exercendo pressão sobre o principal reservatório, o de Nova Ponte. Este desempenha a importante função de regularização de vazão, otimizando a geração de energia nos demais aproveitamentos hidrelétricos de jusante, exercendo também a função de reter a maior parcela de fósforo e disponibilizando água de melhor qualidade para os demais reservatórios.

A legislação brasileira e a mineira que definem padrões de qualidade das águas ampliou o limite superior para o fósforo de concentração de 0,025 mg/L para águas de classe 1, 2 e 3 introduzindo limites distintos para rios e reservatórios de acordo com o tempo de residência da água nos corpos d'água e, segundo o ambiente situado a jusante – quando tributário de reservatório ou, de ambiente intermediário, este último aplicado somente à legislação mineira. (DN COPAM/CERH nº 1 de março de 2008)

Segundo Lamparelli (2004), no ano de 2000, de todas as determinações de fósforo total realizadas pela rede de monitoramento do Estado de São Paulo, 85,9% superaram o valor de 0,25mg/L. Para outros indicadores que também representam a contribuição de esgotos, como coliformes fecais, nitrogênio amoniacal e DBO, as porcentagens de não conformidade com os padrões CONAMA 20/86 (Brasil, 1986), para a classe 2, foram inferiores, sendo 57,4, 35,2 e 33,1% respectivamente.

Problemas de lagos e reservatórios são causados pelo uso antrópico destes ecossistemas que podem desenvolver o processo de eutrofização. A maioria dos lagos tem múltiplas utilizações e os problemas estão relacionados com o conflito entre estas utilizações, por exemplo, um lago sendo usado para descarga de águas residuárias, bem como para fins recreativos. De acordo com Salas e Martino (1991), a maioria dos lagos tropicais na América Latina é limitada por fósforo. Outro aspecto é que, mesmo que a entrada externa de nitrogênio seja controlada, existem algas (cianobactérias), capazes de fixar nitrogênio atmosférico. Essas algas não seriam reduzidas em sensíveis números com a diminuição da carga de nitrogênio do efluente. Devido a este fato, normalmente é dada prioridade ao controle das fontes de fósforo quando a eutrofização de um lago ou reservatório deve ser combatida. Além disso, deve ser notado que sistemas aquáticos tropicais apresentam características bastante diferentes em comparação com lagos e reservatórios temperados. (von Sperling, 1997).

O uso de métodos para a determinação da retenção e da exportação de nutrientes em um reservatório – balanço de massa, tornou-se necessário para prever e controlar o processo de eutrofização, e para propor estratégias de manejo de reservatórios. Essa determinação baseia-se sobretudo, nas estimativas dos aportes de nutrientes pelos tributários e pela saída de nutrientes do reservatório, via vazão. Outros fatores também alteram esse balanço, como por exemplo, as cargas devidas à precipitação, o tipo e uso do solo da bacia hidrográfica em que se situa o corpo d'água estudado. Os processos biológicos e abióticos dentro do reservatório também influenciam a dinâmica desses nutrientes, já que eles podem ser rapidamente assimilados pelos organismos ou sedimentar-se e tornar-se, temporariamente, ou não, indisponíveis à biota.

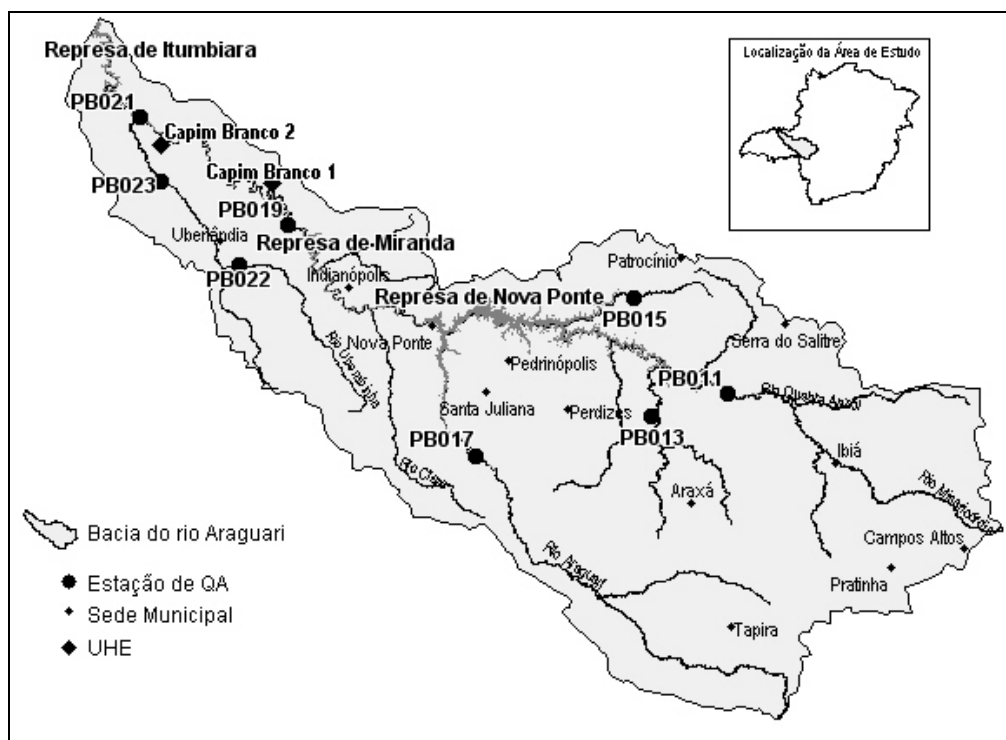
Desta forma, o principal objetivo do trabalho foi definir e aplicar métodos estatísticos de análise e a interpretação dos dados da qualidade da água para investigação de fontes de contribuição de fósforo utilizando os resultados de monitoramento do Projeto Águas de Minas e dados parciais de empreendimentos hidrelétricos, considerando a variação espacial, temporal e sazonal da concentração e da carga deste nutriente em rios e reservatórios da bacia de drenagem do Rio Araguari.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A bacia de drenagem do rio Araguari possui uma área de 21.567 km<sup>2</sup>, com relevo variando de 1300 m a 500 m e tendo no seu curso principal a extensão de 400 km. Ela é muito rica em recursos aquáticos, mostrando uma clara viabilidade para a instalação e geração da energia e a formação de reservatórios. Abrange 13 municípios, com população de 741.488 habitantes, sendo 696.543 habitantes referentes à área urbana, concentrada em grande parte no município de Uberlândia. A estação seca estende-se de abril a setembro, enquanto o período chuvoso ocupa o resto do ano.



A Figura 1 apresenta a bacia de drenagem do Rio Araguari e os pontos de coleta do Programa Águas de Minas (amostragens trimestrais).



**Figura 1: Bacia de drenagem do Rio Araguari e pontos de coleta de água**

Para avaliação da qualidade da água foram compilados para a área de estudo, dados da rede de monitoramento – PN2- sub-bacia do Rio Paranaíba - que integra o Projeto Águas de Minas gerenciado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), órgão vinculado à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMAD. Trata-se de projeto em execução há onze anos, o que vem permitindo identificar alterações na qualidade das águas do estado de Minas Gerais, refletidas na análise do atendimento a padrões de qualidade e observância de padrões estabelecidos para o enquadramento de corpos d'água para atendimento aos usos permitidos em cada trecho considerado, possibilitando desta forma o planejamento de intervenções de controle ou mesmo a necessidade de estudos suplementares.

O IGAM realiza a avaliação da evolução do Índice de Qualidade da Água - IQA e contaminação por tóxicos, em cada estação de amostragem. Para fins de classificação de cursos de água os trechos compreendem o ponto de amostragem e o trecho de montante.

As variáveis analisadas são compostas por dados trimestrais no período de 1997 a 2007 (42 coletas) de cinco parâmetros, totalizando 210 coletas em oito estações de amostragem - 1680 dados.

Os seguintes parâmetros foram selecionados para análise: vazão, temperatura da água, fósforo, nitrogênio total – soma de nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato, e sólidos totais dissolvidos.

## RESULTADOS

Os Rios Quebra-Anzol, Capivara e Araguari compreendem os principais tributários do reservatório de Nova Ponte. As estações de amostragem do Projeto Águas de Minas correspondentes são a PB 011, PB013 e B017.

O Rio Capivara tem médias bastante semelhantes de concentrações de fósforo na estação seca (0,20 mg/L) e chuvosa (0,21 mg/L), indicando que as fontes pontuais e difusas na bacia de drenagem desempenham um papel relevante ao longo de todo o ano. No período seco, predominam as fontes de fósforo pontuais



(principalmente lançamento de esgotos sanitários), enquanto no período de chuva há o predomínio de fontes difusas (presença natural no solo ou exploração mineral).

No Rio Araguari - PB017, que drena área pouco habitada (1 hab/km<sup>2</sup>), não se observa a prevalência de fontes difusas e de atividades minerárias. As médias de concentrações de fósforo são de 0,15 mg / L no período de chuva e 0,04 mg / L na estação seca. Apesar das diferenças marcantes no tamanho das áreas de drenagem e na densidade populacional dos Rios Quebra - Anzol e Santo Antônio (10 hab/km<sup>2</sup> e 518 hab/km<sup>2</sup>), estes mostram características semelhantes quanto à variação sazonal das concentrações de fósforo. O primeiro é responsável pelo aporte de maior carga de fósforo ao reservatório como consequência de uma maior bacia de drenagem com inexpressiva parcela de vegetação natural.

As contribuições da carga de fósforo são fortemente influenciadas pelas variações sazonais. Os valores mais altos e as maiores amplitudes foram registrados no Rio Quebra - Anzol (PB011) - 5,2 t / dia, seguido do trecho de montante do Rio Araguari (PB017) - 2,1 t / dia, na estação chuvosa, sugerindo, por conseguinte, a prevalência de fontes difusas. A média das concentrações de fósforo encontradas nas estações de amostragem localizadas a jusante das barragens das hidrelétricas de Nova Ponte e Miranda foi de 0,02 mg / L, mostrando, por conseguinte, uma melhor qualidade da água, devido à sedimentação, processo este que ocorre dentro dos reservatórios. O modelo de balanço de massa para o fósforo (entrada e saída de fósforo total, a sua retenção e exportação), foi aplicado para ambos os reservatórios (Figura 2). Como aporte de fósforo ao reservatório foi considerado o somatório dos tributários monitorados (PB011, PB013, PB015 e PB017). Para a saída tomou-se como referência o PB019, localizado logo a jusante do reservatório de Miranda.

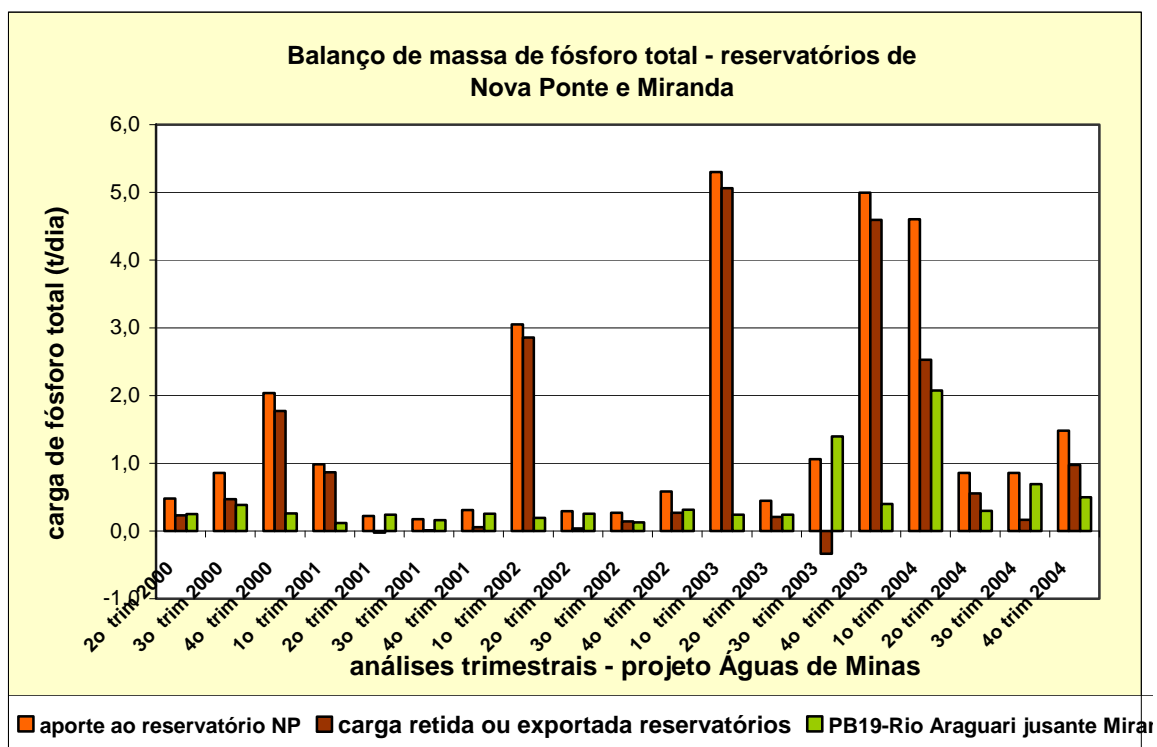
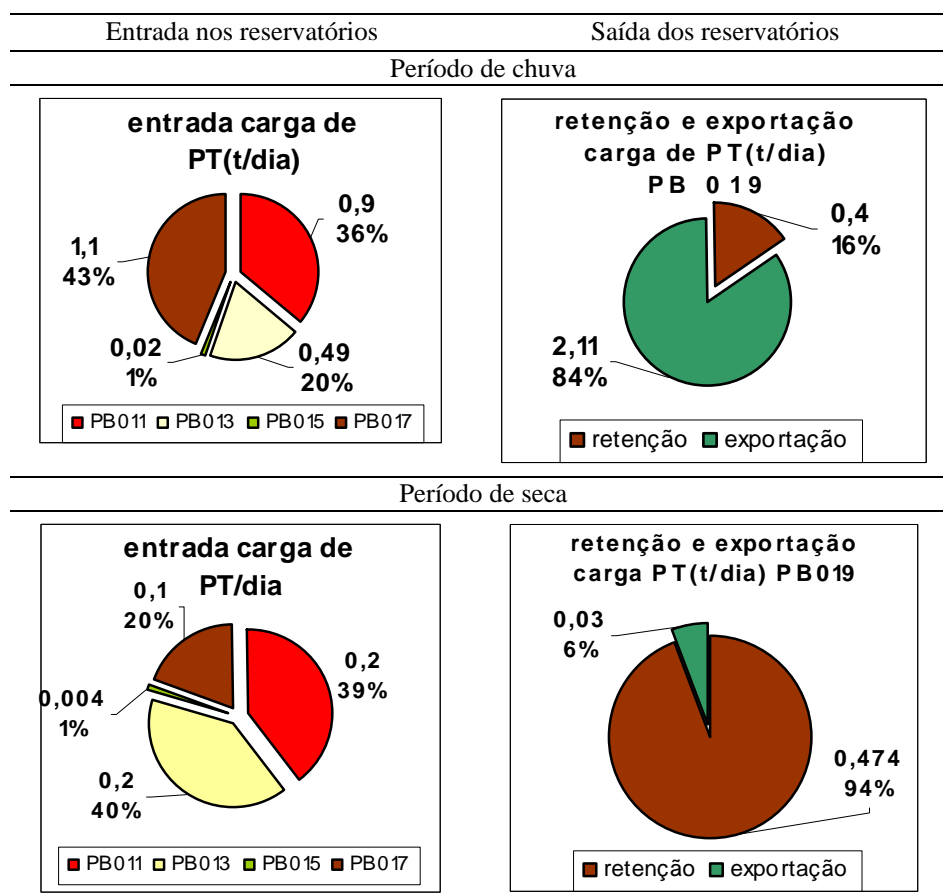


Figura 2: Balanço de massa do fósforo nos reservatórios de Nova Ponte e Miranda.

Observou-se que as maiores entradas ocorrem no período de chuva – primeiro e quarto trimestres de coleta, como também as maiores exportações, ficando retida nos reservatórios menores quantidades de fósforo. Já as menores entradas correspondentes ao período de seca – primeiro e terceiro trimestre - favorecem a maior retenção nos reservatórios. No terceiro trimestre de foi registrada a saída de resíduos armazenados no reservatório ou seja, houve exportação de resíduos para jusante do reservatório de Miranda que é somada à carga de sedimentos que entrou nos reservatórios não se sedimentando nestas unidades.



Na Figura 3 são apresentados resultados do balanço de massa no período de 1997 a 2007, com as médias geométricas de todo o período amostrado. Verifica-se que de fato a maior entrada de carga nos reservatórios ocorre no período de chuva, 2,51t/dia, enquanto na seca a carga é de 0,054t/dia sendo a maior contribuição proveniente do PB017 (1,1t/dia), seguido pelo PB011 (0,9 t/dia), no período de chuva. Com relação à retenção e exportação observa-se que as retenções nos períodos de chuva e de seca são semelhantes, 0,4 t/dia e 0,474t/dia, respectivamente.



**Figura 3 – Distribuição das medianas de carga de fósforo total para a entrada e saída deste nutriente dos reservatórios e nos períodos de chuva e de seca**

## CONCLUSÕES

As contribuições de fósforo de maior relevância na bacia de drenagem do Rio Araguari localizam-se em seu alto curso, exercendo pressão sobre o principal reservatório, o de Nova Ponte. Este desempenha a importante função de regularizar a vazão, otimizando a geração de energia nos demais aproveitamentos hidrelétricos e cumprindo o papel de reter a maior parcela de fósforo, disponibilizando assim água de melhor qualidade para os demais reservatórios. As fontes de poluição difusa predominam nos tributários do Rio Araguari (reserva e exploração mineral) e Rio Quebra-Anzol (atividades agropecuárias). Já o Rio Capivara é fortemente influenciado por cargas pontuais (esgotos domésticos sem tratamento) no período seco. Os resultados da análise do programa de monitoramento indicam como principais demandas do gerenciamento da qualidade da água, o incentivo a técnicas de conservação do uso e ocupação do solo por atividades agropecuárias e o planejamento das explorações minerárias de fosfato.



## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. BRASIL, RESOLUÇÃO CONAMA 20/86.
2. KENNEDY, R. H. e WALKER, W. W. (1990). Reservoir nutrient dynamics. *In*: K. W Thonrton, B. L.
3. MINAS GERAIS, DN COPAM/CERH nº 1 de março de 2008.
4. LAMPAELLI, M. C. Graus de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento. *Tese de doutorado*. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Departamento de Ecologia. 235 p. + Anexos. 2004.
5. SALAS, H. J. e MARTINO, P. (1991). A simplified phosphorus trophic state model for warmwater tropical lakes. *Water Research*, **25**, 341-350
6. VON SPERLING, E. (1997). The process of biomass formation as the key point in the restoration of tropical eutrophic lakes. *Hydrobiologia*, v. 342, p. 351-354