

Contribuição média de fósforo em reservatório de abastecimento de água - Parte 1

Average contribution of phosphorus in water supply reservoir - Part 1

Ioná Beltrão Rameh Barbosa¹, José Almir Cirilo²

RESUMO

O aporte de nutrientes constitui-se um dos maiores problemas em reservatórios artificiais. O rio Capibaribe, mais especificamente o trecho a montante do reservatório Jucazinho, é destino de esgotos domésticos, bem como de efluentes industriais. Esses efluentes, quando lançados sem tratamento adequado, geram uma série de perturbações no corpo hídrico e, mais adiante, chegam ao reservatório Jucazinho, ocasionando problemas ainda maiores como a eutrofização. O presente trabalho descreve a metodologia e os resultados obtidos com a formulação de um modelo que representa a carga de fósforo acumulado no reservatório Jucazinho, a partir de dados de fósforo total medidos ao longo da coluna de água. O estudo permitiu estimar a contribuição média de fósforo, bem como o percentual de redução desse elemento desde o lançamento dos efluentes no rio Capibaribe no trecho a montante até o reservatório, fornecendo subsídios para o planejamento da operação desse manancial.

Palavras-chave: fósforo total; reservatório; Jucazinho.

ABSTRACT

The input of nutrients is a major problem related to artificial reservoirs. The Capibaribe river, specifically the upstream the Jucazinho reservoir, is the destination of domestic sewer and industrial effluents. These effluents, when discharged without proper treatment, generate a series of disturbances in the water body, later arriving at Jucazinho reservoir, causing even bigger problems such as eutrophication. This paper describes the methodology and the results obtained with the formulation of a model representing the phosphorus load accumulated in reservoir Jucazinho from measured data of total phosphorus throughout the water column. The study allowed us to estimate the average contribution of phosphorus as well as the reduction percentage of this element since the release of effluents into Capibaribe river upstream the reservoir, providing support for planning the operation of this water source.

Keywords: total phosphorus; reservoir; Jucazinho.

INTRODUÇÃO

O reservatório Jucazinho, localizado na bacia do Capibaribe no estado de Pernambuco, apresenta a qualidade das águas deteriorada em função do aporte de nutrientes em decorrência do uso e da ocupação do solo na bacia hidrográfica contribuinte. Sua construção foi concluída em 1998 pelo Departamento Nacional de Obras contra as Secas (DNOCS) visando, entre outros objetivos, assegurar o abastecimento de água dessa região e a perenização da calha do rio no trecho jusante Jucazinho-Limoeiro nos períodos de estiagens (BRASIL, 1991).

O rio Capibaribe, mais especificamente o trecho a montante deste reservatório, é destino de esgotos domésticos dos núcleos urbanos de Santa Cruz do Capibaribe e Toritama, bem como dos efluentes industriais de lavanderias de *jeans* neste último município. Esses efluentes, por serem lançados sem tratamento adequado, geram uma série de

perturbações no corpo hídrico e, mais adiante, chegam ao reservatório Jucazinho, ocasionando problemas ainda maiores como a eutrofização.

Para agravar ainda mais o problema, no trecho a montante entre as duas cidades supracitadas, o rio Capibaribe é intermitente e apresenta, na maior parte do ano, baixas vazões ou nenhum escoamento, verificando-se a estagnação das águas e pouco transporte de substâncias. No período de chuvas, entre os meses de maio e agosto, as substâncias contidas nos efluentes e lançadas ao rio durante todo o ano chegam ao reservatório, mesmo com certa redução de poluentes (decaimento) em razão das reações bioquímicas e dos mecanismos de transporte que ocorrem ao longo do rio.

A eutrofização desencadeada pelo excesso de nitrogênio e fósforo em corpos hídricos tem despertado a atenção do poder público em razão do perigo que essas águas oferecem, principalmente quando utilizadas para o abastecimento humano. Atualmente, o reservatório

¹Engenheira civil, Doutora em Recursos Hídricos. Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE), Campus Recife - Recife (PE), Brasil.

²Engenheiro civil, Doutor em Recursos Hídricos. Professor titular da Universidade Federal de Pernambuco, no Centro Acadêmico do Agreste - Caruaru (PE), Brasil.

Endereço para correspondência: Ioná Beltrão Rameh Barbosa - Avenida Professor Luiz Freire, 500 - Cidade Universitária - 50740-540 - Recife (PE), Brasil - E-mail: ionarameh@yahoo.com.br

Recebido: 28/07/12 - **Aceito:** 27/11/14 - **Reg. ABES:** 98008

Jucazinho é responsável por abastecer em torno de 800 mil habitantes na região do Agreste Pernambucano e, por causa do atual estado trófico de suas águas, torna-se imprescindível a realização de estudos que direcionem ações de controle do processo de eutrofização, tendo em vista o crescente aumento das concentrações de nutrientes e, sobretudo, a possibilidade de ocorrência de proliferação de cianobactérias no manancial.

Este trabalho descreve a metodologia adotada e os resultados obtidos com a formulação de um modelo que representa a carga de fósforo acumulado no reservatório Jucazinho a partir de dados de fósforo total medidos ao longo da coluna de água do manancial. O estudo permitiu estimar a contribuição média de fósforo, bem como o percentual de redução desse elemento desde o lançamento dos efluentes no rio Capibaribe no trecho a montante até o reservatório. Esta pesquisa forneceu subsídios para o planejamento da operação do corpo hídrico visando à redução das concentrações de fósforo total e, conseqüentemente, a tendência à eutrofização das águas.

METODOLOGIA

Escolha do nutriente a simular e dados utilizados

Um fator de extrema importância no estudo da eutrofização dos corpos hídricos é a concentração de nutrientes na água, mais especificamente do nitrogênio e do fósforo. Nesse sentido, buscaram-se dados desses dois elementos na tentativa de selecionar a série mais extensa e completa que pudesse estimar o valor médio acumulado de fósforo no reservatório Jucazinho em função das contribuições desse elemento presentes nos efluentes lançados na sua bacia de contribuição. Assim, analisou-se a possibilidade de utilização dos dados do monitoramento sistemático da Agência Pernambucana de Águas e Clima/Agência Estadual de Meio Ambiente (APAC/CPRH) e da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA).

Quanto aos dados da COMPESA, foi verificado que a periodicidade das coletas de água superficial é semestral para a análise do nitrogênio e do fósforo. Já o monitoramento sistemático da APAC/CPRH é realizado desde 2005 com frequência bimestral. São coletadas amostras de água superficial nos meses de janeiro, março, maio, julho, setembro e novembro.

Outro importante condicionante na escolha do elemento a simular diz respeito à disponibilidade de dados ao longo da coluna de água, já que a ideia foi estabelecer cenário de aporte desse nutriente ao reservatório em razão da carga acumulada observada no manancial. Em consulta à bibliografia disponível, constatou-se que vários pesquisadores (CASTAGNINO, 1982; ESTEVES, 1998; FUENTES, 2000; REYNOLDS & DAVIS, 2001; SALAS & MARTINO, 1991;

TOLEDO *et al.*, 1983) relatam que a maioria dos lagos e reservatórios de regiões tropicais contêm o fósforo como nutriente limitante ao crescimento da biomassa verde.

Por outro lado, em análise aos dados da COMPESA, verificou-se que havia dados de fósforo no perfil da água do reservatório Jucazinho, fruto de duas campanhas de amostragem (2001 e 2004). Infelizmente existem poucos dados de concentração deste elemento na coluna de água do manancial. O fósforo presente na massa líquida foi monitorado pela COMPESA em três campanhas de amostragens no ano de 2001 (10 e 24 de abril e 10 de julho) e duas em 2004 (5 de abril e 10 de agosto). Para caracterização do atual conteúdo de fósforo no reservatório, foi necessária uma campanha, a qual foi realizada em 15 de setembro de 2011 pela APAC e contou com o apoio da CPRH para a realização das análises.

As coletas foram realizadas no mesmo ponto das coletas anteriores, ou seja, próximo ao flutuante de captação da COMPESA, utilizando a garrafa *Van Dorn*. As amostras foram acondicionadas em frascos previamente selecionados e preservadas em caixas térmicas com gelo até o momento da análise. A maior parte desse conjunto de amostras foi coletada a cada 5 m de profundidade ao longo do perfil da água do reservatório. O fósforo total das amostras da COMPESA, assim como da CPRH, foi determinado colorimetricamente pelo método do ácido ascórbico com digestão pelo persulfato de potássio. A metodologia utilizada para as coletas das amostras, bem como para as análises, é a indicada pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (ALBUQUERQUE, 2005).

Determinação da carga de fósforo acumulado no reservatório Jucazinho

Reservatórios que controlam a vazão de saída podem apresentar tempo de residência da água pequeno (medido em dias), tendo em vista o escoamento por meio das comportas ou outro dispositivo de descarga. No caso de reservatórios/respresas em que não há a saída de água hipolimnética, a água é renovada somente quando seu nível atinge a cota de sangradouro do barramento, o que depende inteiramente das condições hidrológicas da região. Nesse caso, em razão da afinidade do fósforo com o material particulado na massa líquida, tem-se uma tendência maior à acumulação desse elemento quanto maior for o tempo de residência da água (ESTEVES, 1998).

No reservatório Jucazinho, apesar da existência de válvula dispersora, a descarga de fundo do reservatório não era possível de ser executada por causa da configuração da captação da água pelo flutuante que não permitia essa operação. Com isso, houve acumulação de substâncias, entre elas o fósforo, desde fevereiro de 2004, data da última descarga de fundo registrada.

A abordagem básica adotada para determinação do conteúdo de fósforo total presente na massa líquida se apoia na medição da concentração do elemento considerado a várias profundidades, em diferentes anos e nos respectivos volumes correspondentes.

Nesse aspecto, procurou-se estabelecer um modelo de regressão, baseado na observação de fósforo na coluna de água e no volume do reservatório, modelo esse que seja capaz de estimar a carga desse nutriente acumulada ao longo dos anos.

Diante da necessidade de obtenção de um modelo simples e da dificuldade de representatividade da concentração média de fósforo total ao longo do perfil da água em todo o lago, o modelo de carga de fósforo total obtido não considerou as diferenças espaciais e a sazonalidade das concentrações de fósforo existentes na massa líquida. Portanto, para a adoção desse modelo foram assumidas as seguintes premissas:

- Lago com faixas de concentração uniformes na sua extensão, porém com concentração variável com a profundidade, conforme mostra a Figura 1.
- Fósforo total usado como nutriente limitante.

O cálculo do conteúdo de fósforo foi baseado na curva cota x volume e nos dados observados de concentração desse elemento ao longo da coluna de água. Concentrações médias (C_z) foram obtidas entre duas profundidades e seus respectivos volumes (V_z), o qual foi definido pela curva cota x volume por meio da diferença de volumes nas extremidades inferior e superior da camada considerada.

Com o produto da concentração média de fósforo e o volume, calculou-se a carga desse elemento em cada camada de volume. O conteúdo de fósforo acumulado no reservatório (P) é dado pelo somatório das cargas nas camadas consideradas, conforme equação abaixo:

$$P = \sum_{1}^n C_{z_n} * V_{z_n}$$

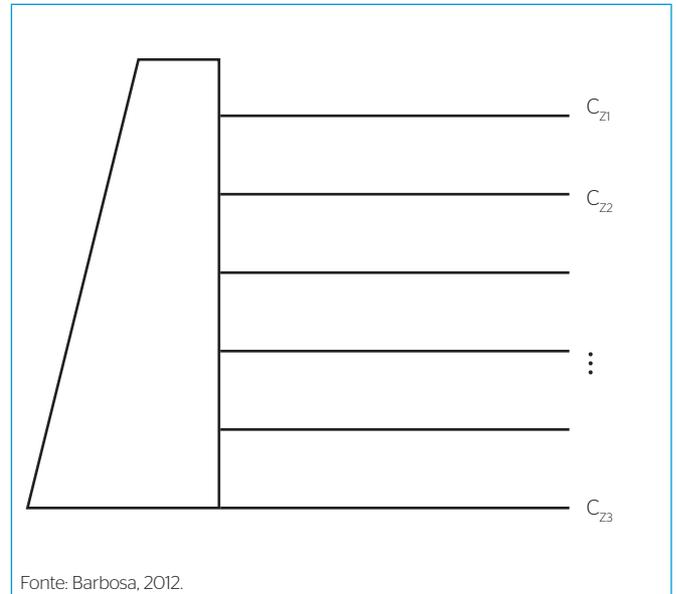
Em que:

C_{z_n} é a concentração média de fósforo total na camada n ; e

V_{z_n} é o volume de água na camada n .

Vale ressaltar que o somatório das cargas é feito da superfície da água até a profundidade máxima no ponto de amostragem e que essa abordagem é descrita em Jorgensen e Vollenweider (1988) como sendo uma das alternativas para obtenção da carga de uma substância num corpo de água.

Utilizando essa metodologia, obteve-se a carga acumulada de fósforo total no reservatório nos referidos anos amostrados e, com isso, definiu-se um modelo de regressão linear que representa, de forma razoável, a tendência de acúmulo desse elemento no reservatório Jucazinho. No item “Resultados”, o modelo de regressão é apresentado.



Fonte: Barbosa, 2012.

Figura 1 - Figura esquemática mostrando as variações de concentração média de fósforo entre camadas de volume no reservatório.

Determinação do aporte de fósforo aos corpos hídricos (rio Capibaribe e reservatório) e a taxa de decaimento do fósforo total

Para simular o aporte de fósforo total da bacia de contribuição ao rio Capibaribe e conseqüentemente ao reservatório Jucazinho, levou-se em consideração os lançamentos e as contribuições desse elemento no efluente industrial das lavanderias em Toritama e no esgoto doméstico dos núcleos urbanos das cidades de Santa Cruz do Capibaribe, Toritama e Trapiá, povoado pertencente ao município de Riacho das Almas, em Pernambuco, que se encontra às margens do Capibaribe, na zona de remanso do reservatório Jucazinho.

Para a estimativa da carga de fósforo produzida pelas populações, utilizou-se a Pesquisa de Domicílios Particulares Permanentes, por tipo de esgotamento sanitário, do IBGE para o ano de 2000, em que é possível determinar a população contribuinte. Levou-se em consideração que os domicílios urbanos que dispõem de fossa séptica ou rudimentar não contribuem com o lançamento de esgoto no rio. A Figura 2 apresenta o diagrama unifilar com os núcleos urbanos, afluentes do Capibaribe e o reservatório Jucazinho, considerados no trabalho.

Com a população atual estimada pelo último Censo do IBGE (CONDEPE/FIDEM, 2010), foi possível determinar a taxa de crescimento populacional e, conseqüentemente, adotou-se esse mesmo valor para a atualização do número de habitantes que contribuem com o lançamento de esgoto no rio. Utilizou-se a estimativa *per capita* de fósforo mencionada em literatura nacional de 0,7 a 2,5 g.hab⁻¹.dia⁻¹ para cálculo da carga total afluente ao rio (SPERLING, 2007).

Para a localidade de Trapiá, admitiu-se que toda a população contribuiu para o aporte de fósforo ao rio, em razão de sua localização, e

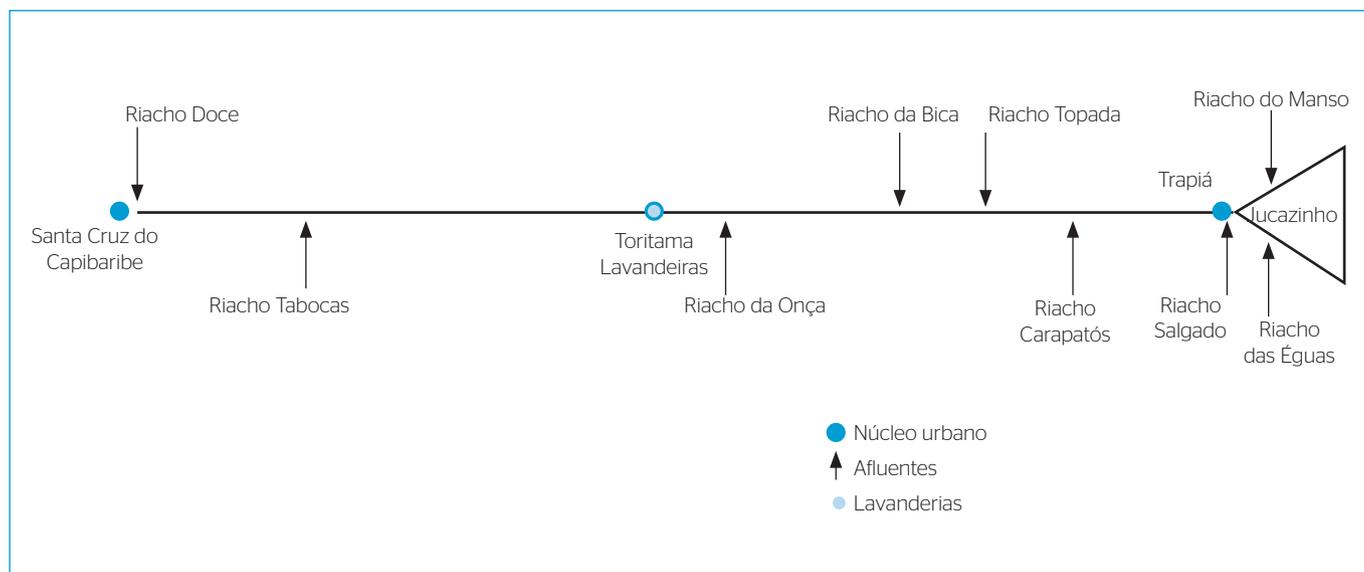


Figura 2 - Diagrama unifilar do trecho do rio em estudo. Fonte: Barbosa, 2012.

adotou-se uma taxa de crescimento médio de 4% ao ano, observada nas cidades vizinhas, e a mesma contribuição de fósforo total por habitante mencionada anteriormente.

Para a carga de fósforo proveniente dos esgotos das lavanderias, considerou-se a estimativa de 60 a 100 L de água utilizada por peça produzida, conforme mencionado por Almeida (2008). Obteve-se, do SEBRAE/PE, a produção média diária por lavanderia (1.500 peças), bem como o número atual de empresas desse ramo (55 lavanderias), e adotou-se um valor médio de 90.000 peças lavadas por dia no município. Também foi considerado o valor entre 2 e 5,2 mg.L⁻¹ para a concentração de fósforo total no esgoto industrial equalizado, conforme descrito por Santos *et al.* (2003), para o cálculo dessa contribuição. O aporte médio de fósforo foi determinado em função do conteúdo acumulado existente no manancial. Para isso, levou-se em consideração que há uma perda desse nutriente ao longo do percurso do rio, chegando ao reservatório apenas uma fração do que foi gerado nas fontes, além da perda desse nutriente no próprio manancial. Diante disso, foram considerados alguns cenários de contribuição de fósforo ao reservatório Jucazinho, de acordo com os valores citados em bibliografia.

Na realidade, o que ocorre com o fósforo contido nos efluentes domésticos e industriais quando lançados aos canais de drenagem e no próprio rio Capibaribe são transformações na sua forma de apresentação devido às reações bioquímicas ao longo do percurso. O que de fato ocorre no ambiente, seja no rio ou no reservatório, é a sedimentação do fósforo orgânico particulado, a conversão do fósforo orgânico particulado a fósforo inorgânico dissolvido e a liberação de fósforo inorgânico dissolvido pelo sedimento para a água (SPERLING, 2007). Esses dois primeiros contribuem para a

Tabela 1 - Valor adotado para as variáveis utilizadas para estabelecer o aporte de fósforo ao rio.

| Variável | Valor de literatura | Valor adotado |
|---|--|--|
| Contribuição <i>per capita</i> de fósforo total no esgoto doméstico | 0,7 a 2,5 g.hab ⁻¹ .dia ⁻¹ | 1,6 g/hab ⁻¹ .dia ⁻¹ |
| Consumo de água por peça | 60 a 100 L | 100 L |
| Concentração de fósforo total no efluente das lavanderias | 2 a 5,2 mg.L ⁻¹ | 3,6 mg.L ⁻¹ |

retirada de fósforo do sistema, enquanto o último adiciona esse nutriente ao ambiente.

Por fim, diante da amplitude das variáveis utilizadas para o cálculo do aporte de fósforo ao rio Capibaribe, optou-se por estabelecer um cenário de contribuição de fósforo total que configurasse a situação mediana dos valores, exceto para o consumo de água por peça lavada nas lavanderias por se tratar de um dado real obtido do SEBRAE/PE. Esse cenário foi constituído com valores que estão apresentados na Tabela 1.

Por outro lado, vale ressaltar que as condições de intermitência do fluxo de água verificadas no trecho em estudo e a quantidade limitada de dados de fósforo ao longo do rio e no próprio manancial dificultaram a escolha de um modelo conceitualmente mais robusto que simulasse os mecanismos de aporte de fósforo ao rio e conseqüentemente ao reservatório Jucazinho. Contudo, optou-se por um modelo matemático que representasse os processos envolvidos com parâmetros de fácil ajuste. A escolha recaiu sobre um modelo de preservação da massa, cuja simulação levou em conta

o aporte de fósforo ao rio e a correspondência que existe entre a carga média produzida e a acumulação média de fósforo verificada no reservatório Jucazinho.

Definido o aporte médio de fósforo ao rio (variável de decisão no modelo) com os valores listados na Tabela 1, procedeu-se uma análise de jusante para montante (reservatório para rio a montante) buscando ajustar o percentual de perdas de fósforo (decaimento) à carga média de fósforo total acumulado (conteúdo médio de fósforo acumulado). Considerou-se que as perdas de fósforo se observam desde os lançamentos dos efluentes até a entrada no manancial e no próprio reservatório em razão das reações bioquímicas e do transporte da substância ao longo dos corpos hídricos (rio e reservatório), conforme comentado.

RESULTADOS

As concentrações de fósforo total nos anos de 2001, 2004 e 2011 permitiram a avaliação do comportamento desse nutriente ao longo dos anos no reservatório Jucazinho. A Tabela 2 mostra as concentrações de fósforo observadas nos referidos anos, obtidas com as fontes já referenciadas.

A estimativa da carga acumulada, adotando-se a metodologia descrita, leva ao conteúdo de fósforo nos anos observados, conforme apresentado na Tabela 3.

Com o objetivo de obter uma curva que representasse a tendência do acúmulo de fósforo total no período de 2001 a 2011 no reservatório Jucazinho, procedeu-se a uma análise por regressão. Por regressão linear, estimou-se a carga média acumulada ao longo dos anos, a qual é representada pelo coeficiente angular da equação.

Tabela 2 - Dados de concentrações de fósforo total ao longo do perfil do reservatório.

| Prof. (m) | 04/04/01 | 24/04/01 | 10/07/01 | 05/04/04 | 10/08/04 | 15/09/11 |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0 | - | - | - | - | - | 0,460 |
| 0,3 | 0,042 | - | - | 0,088 | - | - |
| 2 | 0,045 | 0,077 | - | - | - | - |
| 4 | 0,091 | 0,080 | - | - | - | - |
| 5 | - | 0,278 | 0,136 | 0,059 | 0,172 | 0,420 |
| 6 | - | 0,103 | - | - | - | - |
| 8 | 0,097 | 0,069 | - | - | - | - |
| 10 | - | - | 0,123 | 0,021 | - | 0,420 |
| 12 | 0,070 | 0,083 | - | - | - | - |
| 14 | 0,076 | 0,083 | - | - | - | - |
| 15 | - | - | 0,126 | 0,001 | 0,160 | 0,430 |
| 17 | 0,140 | - | - | - | - | - |
| 18 | - | 0,134 | - | - | - | - |
| 20 | 0,144 | - | 0,129 | - | 0,205 | 0,440 |
| 22 | - | 0,270 | - | - | - | - |
| 23 | 0,125 | - | - | - | - | - |
| 25 | - | - | 0,139 | 0,091 | 0,211 | 0,450 |
| 26 | 0,261 | 0,301 | - | - | - | - |
| 30 | - | - | 0,120 | 0,119 | 0,232 | 0,460 |
| 35 | - | - | - | 0,084 | 0,199 | 0,480 |
| 40 | - | - | - | 0,037 | 0,343 | 0,490 |
| 45 | - | - | - | 0,003 | 0,244 | - |

Fonte: Anos 2001 e 2004 - dados coletados e analisados pela COMPESA. Disponível em Albuquerque (2005). Ano de 2011 - amostras coletadas pela APAC e analisadas pela CPRH. Concentrações em mg.L⁻¹.

Tabela 3 - Carga de fósforo total acumulado nos anos de 2001, 2004 e 2011 no reservatório Jucazinho.

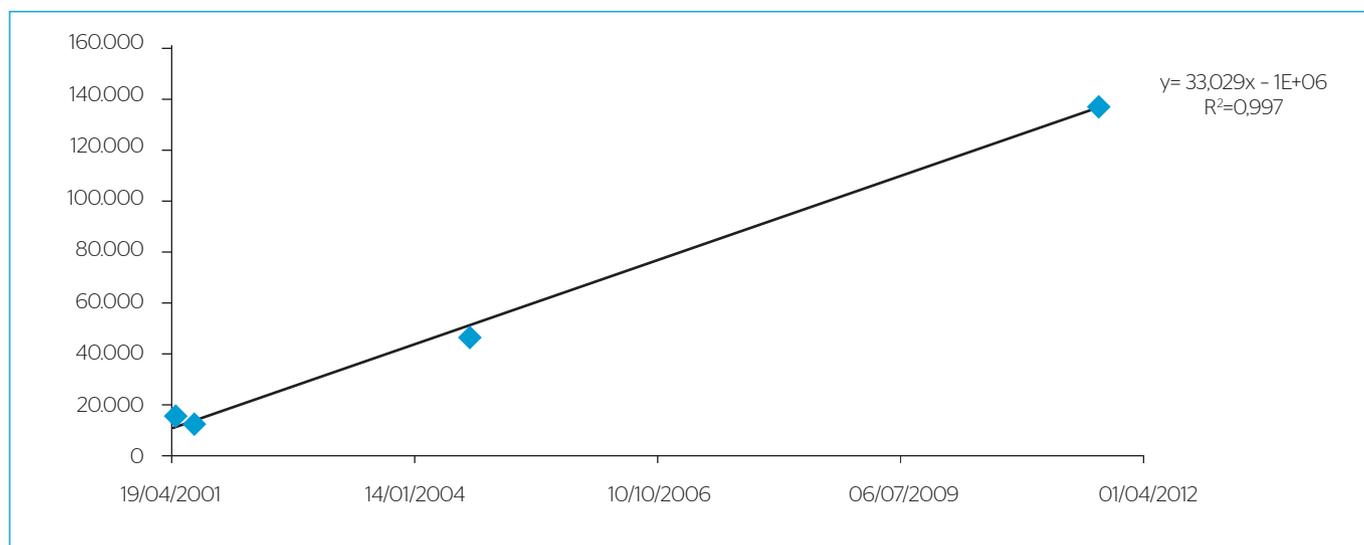
| Data | Carga (kg.dia ⁻¹) |
|------------|-------------------------------|
| 04/04/2001 | 11.962,64 |
| 24/04/2001 | 14.528,64 |
| 10/07/2001 | 12.179,88 |
| 05/04/2004 | 15.640,62 |
| 10/08/2004 | 46.824,70 |
| 15/09/2011 | 138.077,32 |

A Figura 3 mostra o modelo de regressão e a carga média de fósforo total acumulado no reservatório.

Na Tabela 4 são apresentadas as cargas de fósforo total geradas pelas contribuições de fósforo dos efluentes domésticos e industriais, considerando os valores médios das variáveis, bem como a redução avaliada de fósforo para representar o conteúdo observado no reservatório Jucazinho.

DISCUSSÃO

Observando a Tabela 3, nota-se um aumento considerável de fósforo no reservatório entre os anos de 2004 e 2011, que pode ser justificado

**Figura 3 - Modelo linear de representação da carga média de fósforo total acumulado no reservatório Jucazinho. Fonte: Barbosa, 2012.****Tabela 4 - Carga de fósforo total gerada, as respectivas perdas e a carga remanescente no reservatório Jucazinho.**

| Cenário adotado - população contribuindo com 1,6 g.hab ⁻¹ .dia ⁻¹ de P e lavanderia utilizando 100 L de água por peça e efluente com concentração de P de 3,6 mg.L ⁻¹ | | | | |
|--|--------------------------------------|---|--|---|
| Município/ localidade | Carga gerada (kg.dia ⁻¹) | Perda entre Santa Cruz e Toritama (kg.dia ⁻¹) | Perda entre Toritama e o Jucazinho (inclusive) (kg.dia ⁻¹) | Carga remanescente em Jucazinho (kg.dia ⁻¹) |
| Santa Cruz do Capibaribe (efluente doméstico) | 112,33 | 85,92 | 20,20 | 6,21 |
| Toritama (efluente doméstico) | 48,13 | - | 36,82 | 11,31 |
| Lavanderias Toritama | 32,40 | - | 24,78 | 7,62 |
| Trapiá (efluente doméstico) | 7,89 | - | - | 7,89 |
| Redução/perda de fósforo | | 76% | 76% | |
| Estimativa do fósforo aportado que está acumulado em Jucazinho (kg.dia ⁻¹) | | | | 33,03 |

P: fósforo.

pela ausência de descarga de fundo nesse período, a qual, sendo efetuada, faria com que houvesse a eliminação de grande parte da carga de fósforo na massa líquida, próximo à saída. Além disso, as precipitações observadas nos anos de 2006 e 2007 não foram capazes de ocasionar vertimento no reservatório Jucazinho, o que também contribuiu para a elevação do fósforo no manancial.

Também se observa que, de acordo com o gráfico da Figura 3, a acumulação média de fósforo no reservatório é em torno de 33 kg.dia⁻¹, o que corresponde a aproximadamente 11.000 kg.ano⁻¹. Essa carga de fósforo é proveniente dos efluentes domésticos e industriais (lavanderias) que são carreados pelos corpos hídricos, alcançando, por fim, o manancial. É importante salientar que, por falta de pontos de monitoramento nos cursos d'água (Capibaribe e seus afluentes), tornou-se difícil avaliar o potencial de aporte de fósforo por fontes difusas. Também não foi avaliado o uso e a ocupação do solo na bacia contribuinte ao reservatório Jucazinho, porém sabe-se que as suas águas são utilizadas para irrigar lavouras próximas às suas margens e pelo uso, muitas vezes em excesso, de fertilizantes estão também contribuindo para o aporte de fósforo ao manancial nos períodos de chuvas intensas.

Por outro lado, o ajuste do percentual de perdas de fósforo (decaimento) ao longo do percurso (rio e reservatório) à carga média de fósforo total acumulado em reservatório Jucazinho permitiu estimar uma redução em torno de 76% da carga de fósforo gerada nas cidades supracitadas até o manancial, inclusive neste. Vale ressaltar que a distância entre as duas cidades e desta última ao reservatório, pelo percurso do rio, é praticamente a mesma, ficando em torno de 25 km, o que justifica o mesmo percentual de perda de fósforo nos dois trechos, conforme mostra a Tabela 4.

CONCLUSÕES

Com os dados observados em campo nos núcleos urbanos a montante do reservatório, às margens do rio, conclui-se que:

- é inquestionável a necessidade de implantação de sistema de esgotamento sanitário nas comunidades a montante do reservatório Jucazinho, que, por apresentarem seu núcleo urbano às margens do rio ou na zona de remanso do reservatório, exercem forte influência na qualidade das suas águas;
- o lançamento de efluentes industriais das lavanderias, sem o devido tratamento em Toritama, e o barramento do rio para captação das suas águas para uso industrial nesse trecho é um sério problema que atinge não só os moradores desse município mas toda a região que depende inteiramente das águas do rio e do reservatório Jucazinho;
- a degradação da vegetação nativa e a substituição por áreas de agricultura e criação de animais, observada no entorno do reservatório, podem estar contribuindo para a elevação dos níveis de fósforo aportado ao manancial em períodos de chuvas.

Em relação ao aporte de fósforo e à carga acumulada no reservatório Jucazinho, chega-se às seguintes conclusões:

- O reservatório Jucazinho acumulou uma carga de aproximadamente 138 toneladas de fósforo total no período de abril de 2001 a setembro de 2011.
- Há uma estimativa de perdas de fósforo ao longo do percurso do rio Capibaribe, do ponto onde são lançadas até o reservatório, inclusive neste, em torno de 76% para representar a carga/conteúdo atualmente presente no reservatório Jucazinho.

A partir da definição dos padrões de acumulação média anual de fósforo, tornou-se possível o balanço de massa no reservatório e a definição de estratégias para a sua operação, visando fundamentalmente à melhoria da qualidade da água. Essa pesquisa complementa o manuscrito ora apresentado e está relatada no artigo seguinte.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA ESTADUAL DE PLANEJAMENTO E PESQUISA DE PERNAMBUCO- CONDEPE/FIDEM. (2010) Base de Dados do Estado de Pernambuco - BDE. *Perfil municipal, ano de referência 2010*. Disponível em: <<http://www.bde.pe.gov.br>> Acesso em: set. 2011.

ALBUQUERQUE, N.L. (2005) Estudos da presença do manganês no reservatório Jucazinho localizado na bacia hidrográfica do rio Capibaribe no Agreste pernambucano - Brasil. 96f. Dissertação (mestrado em Tecnologia Ambiental) - Associação Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP/OS), Recife, Pernambuco.

ALMEIDA, M. (2008) Understanding incentives for clustered firms in Brazil to control pollution: The case of Toritama. In: *Upgrading Clusters and Small Enterprises in Developing Countries*. Brasília: IPEA, cap. 6, p. 107-134.

BARBOSA, I.M.B.R. (2012) Planejamento da operação de reservatório objetivando a melhoria da qualidade da água: estudo de caso no Agreste Pernambucano. Tese (doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, Pernambuco.

BRASIL. (1991) Ministério da Integração Nacional - MIN. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS. 3ª Diretoria Regional. *Projeto Básico da Barragem Jucazinho: Relatório Preliminar*. Recife: Geogrupo, 24p.

CASTAGNINO, W.A. (1982) Investigación de modelos simplificados de eutroficación en lagos tropicales. Organizacion Panamericana de La Salud (OPS) - Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Versión revisada, p. 1-30.

ESTEVES, F.A. (1998) *Fundamentos de Limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência.

FUENTES, J.S. (2000) El fósforo, parâmetro crítica de calidad de água técnicas analíticas y de muestreo. *In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Fortaleza.

JORGENSEN, S.E. & VOLLENWEIDER, R.A. (1988) *Guidelines of lake management. Principles of lake management*. Vol. 1. ILEC/UNEP, 195p.

REYNOLDS, C.S. & DAVIES, P.S. (2001). Sources and bioavailability of phosphorus fractions in freshwater: a British perspective. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, v. 76, p.27-64.

SALAS, H.J. & MARTINO, P. (1991) A Simplified Phosphorus Trophic State Model for Warm-Water Tropical Lakes. *Water Resources*, v. 25, n. 3, p. 341-350.

SANTOS, E.O.; BRAYNER, F.M.M.; FLORÊNCIO, L. (2003) Estudos das características dos efluentes gerados em lavandeias/tinturarias de jeans na cidade de Toritama - Pernambuco. *In: XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais...* Joinville/SC: ABES.

SPERLING, M. (2007) *Estudos da modelagem da qualidade da água*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG. 588p.

TOLEDO, A.; TALARICO, M.; CHINEZ, S.J.; AGUDO, E.G. (1983) A aplicação de Modelos Simplificados para a avaliação do processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. *In: XII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais...* Camboriú/SC: ABES, p. 1-34.