

AFLUÊNCIA DE POLUENTES NO RESERVATÓRIO BILLINGS DURANTE OS TESTES DA FLOTAÇÃO NO RIO PINHEIROS

Mario Thadeu Leme de Barros¹; Renato Carlos Zambon², Ludmilson Abritta Mendes³ & Luiz Fernando Orsini Yazaki⁴

RESUMO – Este artigo apresenta uma estimativa do aporte de carga poluidora do rio Pinheiros ao reservatório Billings através da Usina Elevatória de Pedreira em São Paulo. O estudo faz parte dos trabalhos desenvolvidos para a avaliação da qualidade das águas do sistema Pinheiros-Billings durante a operação do protótipo do processo de flotação das águas do Rio Pinheiros. Tratando-se devidamente este rio, será possível bombeá-lo para o reservatório Billings, aumentando a produção energética da Usina Henry Borden. Os resultados obtidos pelo protótipo são promissores, demonstrando que a flotação remove elevado percentual de fósforo e percentuais significativos da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). São apresentadas as estimativas de carga poluidora bombeada ao reservatório Billings resultante tanto do bombeamento para a flotação do rio Pinheiros como pelo bombeamento realizado para controle de cheias em São Paulo.

ABSTRACT – This paper presents an estimated polluting load from Pinheiros river to Billings reservoir in São Paulo. The study is part of the the Pinheiros-Billings water quality evaluation during the operation of the water treatment by flotation. The results are promising, the total phosphorus and biochemical demand of oxygen (BDO) removal is relevant. This paper analyzes the polluting load on account of the flotation system operation and for the flood control in São Paulo.

Palavras-chaves: Qualidade da água, Billings, Flotação.

¹ Professor Titular e Chefe do Departamento de Eng. Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Email: mtbarros@usp.br

² Professor do Departamento de Eng. Hidráulica e Sanitária da EPUSP. Email: rczambon@usp.br

³ Engenheiro da Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH) e Professor assistente do Departamento de Eng. Hidráulica e Sanitária da EPUSP. Email: ludmilsonmendes@yahoo.com.br

⁴ Engenheiro e Líder de projetos da Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH). Email: luizorsini@fcth.br

1. INTRODUÇÃO

Este artigo apresenta um estudo sobre o aporte de poluentes ao reservatório Billings através da Usina Elevatória de Pedreira, em São Paulo, durante os testes do protótipo da flotação no rio Pinheiros. Este estudo é parte integrante dos trabalhos desenvolvidos pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH) para o projeto de Pesquisa & Desenvolvimento P&D 0061-002/2007 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que tem como proponente a Cia. Energética de São Paulo (CESP) e como cooperada a Empresa Metropolitana de Águas e Energia (EMAE), nos termos do Convênio de Cooperação entre FCTH e EMAE, firmado em agosto de 2007. O convênio objetiva fornecer subsídios para o estudo de viabilidade do sistema de tratamento das águas do rio Pinheiros pelo processo de flotação.

A implantação do sistema de tratamento por flotação parte do princípio de que, despoluindo-se as águas do rio Pinheiros, seria possível voltar a bombeá-las para o reservatório Billings e, assim, aumentar a produção de energia hidrelétrica no complexo Henry Borden.

O complexo Henry Borden, localizado em Cubatão, é composto por duas usinas que aproveitam a queda de aproximadamente 720 m existente entre o reservatório Billings, situado no planalto, e o sopé da Serra do Mar para geração de energia. A capacidade instalada total é de 889 MW, correspondente à vazão $157 \text{ m}^3/\text{s}$ derivada do reservatório Billings. Para produzir essa vazão, entretanto, o reservatório Billings depende da reversão de parte da vazão dos rios Tietê e Pinheiros. Para viabilizar a reversão, realizaram-se na década de 1930 as obras de retificação do rio Pinheiros e de construção das estações elevatórias de Pedreira e de Traição. Atualmente, a capacidade máxima do sistema de reversão é de $395 \text{ m}^3/\text{s}$.

A crescente poluição das águas dos rios Tietê e Pinheiros, a conseqüente degradação do reservatório Billings e a opção de utilizá-lo também como manancial de água para abastecimento público acabaram por restringir a reversão, que passou a ser feita somente para o controle de cheias. O Artigo 46 da Constituição do Estado de São Paulo dispõe sobre esse assunto, ao estabelecer que: “no prazo de três anos, a contar da promulgação desta Constituição, ficam os Poderes Públicos Estadual e Municipal obrigados a tomar medidas eficazes para impedir o bombeamento de águas servidas, dejetos e de outras substâncias poluentes para a represa Billings.”

Para cumprir as disposições constitucionais, a Resolução Conjunta SMA/SES 03/92, atualizada pela Resolução SEE-SMA-SRHSO-I de 13/03/96, estabeleceu que as águas do Pinheiros não poderiam mais ser bombeadas para o reservatório Billings, exceto nos casos de risco de inundações. Assim a capacidade de produção do complexo de Henry Borden foi reduzida em aproximadamente 75%. A despoluição das águas do rio Pinheiros, portanto, é condição necessária

para o aumento da produção de energia em Henry Borden. Além disso, o reservatório Billings, desde o ano 2000, é utilizado como manancial para abastecimento público através da transposição de uma vazão média de 2 m³/s do braço do Taquacetuba para o reservatório do Guarapiranga.

Considerando a importância estratégica da usina de Henry Borden para o Sistema Elétrico e a possibilidade de melhorar as condições ambientais das águas do rio Pinheiros com fins à reversão para o reservatório Billings, sem comprometer seu uso para abastecimento público e atendendo às disposições legais, foi concebido o sistema de tratamento por flotação. A implantação do sistema completo, aliada a medidas complementares de controle de poluição, permitirá a reversão de 50 m³/s para o reservatório Billings, o que propiciaria um aumento médio de 280 MW na produção de energia no complexo de Henry Borden.

Como primeira fase deste empreendimento, foi instalado, no trecho de 4.070 m do canal do rio Pinheiros entre o córrego Zavuvus e a Usina Elevatória de Pedreira, um protótipo do sistema formado por duas estações de flotação com capacidade de 10 m³/s. A localização das estações de flotação pode ser observada no diagrama unifilar do Sistema Pinheiros-Billings apresentado na Figura 1. O estudo do desempenho do protótipo e de seus impactos ambientais sobre o sistema hídrico, realizado pela FCTH, subsidiará o Estudo de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) que está sendo elaborado pela EMAE. Parte deste estudo, referente à estimativa da carga de poluentes bombeada ao reservatório Billings durante as operações de controle de cheia e ao longo dos testes da flotação, é apresentada neste artigo.

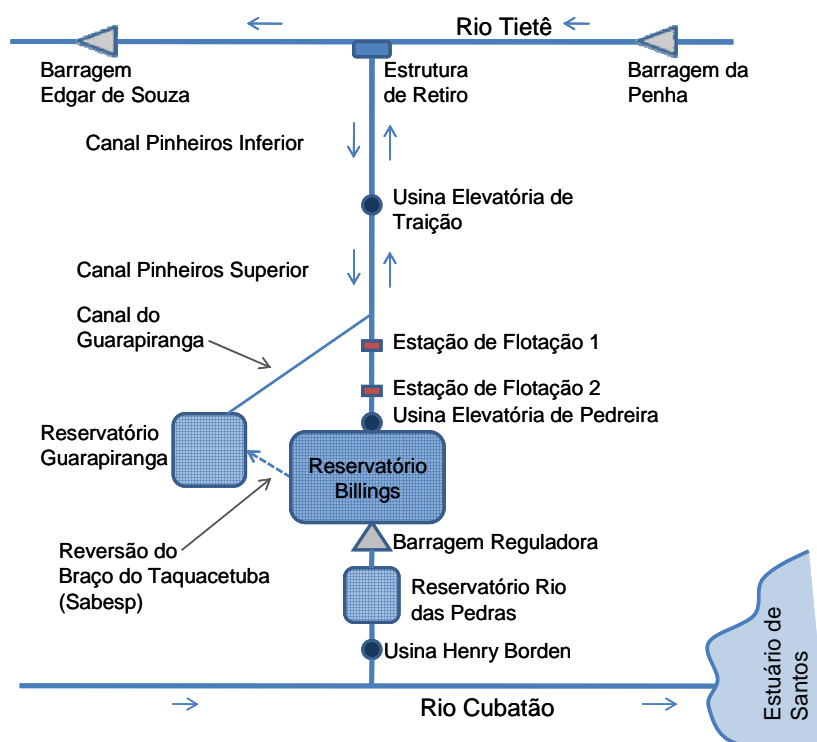


Figura 1 – Diagrama unifilar do Sistema Pinheiros-Billings

2. EFICÁCIA DO PROTÓTIPO DA FLOTAÇÃO NA REMOÇÃO DE POLUENTES

Para a determinação da eficácia conseguida pelo tratamento por flotação na remoção de poluentes, foram selecionados os períodos em que o sistema funcionou continuamente por pelo menos 6 dias, descontadas as primeiras 48 horas de funcionamento após cada novo acionamento do sistema.

Considerando esse critério, fazem parte da avaliação dos resultados as análises de amostras coletadas nos seguintes períodos em 2008: 27/02 a 13/03; 25/03 a 03/04; 07/05 a 01/06, 20/06 a 25/07. Têm-se, assim, 88 dias de operação para análise comparativa entre água bruta e água flotada no rio Pinheiros.

Para adequar a comparação dos resultados das coletas realizadas na entrada do sistema (ponto P1) com as da saída do sistema (ponto P4A), os dados de P1 foram defasados em um dia em relação aos dados de P4A. Isso se justifica pois, no processo de flotação, são necessárias cerca de 20 horas para a água bruta em P1 percorrer todo trecho do canal do Pinheiros entre as duas estações de flotação até chegar em P4A como água flotada. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos durante o período considerado para 10 das 200 variáveis de qualidade da água monitoradas.

Tabela 1 – Eficácia de remoção de poluentes com operação contínua do protótipo da flotação

Variável de qualidade	Valores médios		Variação entre P1-P4A		Conformidade	
	P1	P4A	Obtida	Esperada*	P1	P4A
Fósforo Total (mg/L)	0,586	0,050	-91%	-95%	21%	73%
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	24,0	20,6	-14%	-	20%	37%
Nitrogênio Nitrato (mg/L)	0,104	0,110	+5%	-	sem limite fixado	
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	345.132	31.745	-90,8%	-99,9%	sem limite fixado	
Ferro Solúvel (mg/L)	1,10	1,27	+16%	-	100%	100%
DBO (mg/L)	73	34	-53%	-71%	35%	95%
Sólidos em Suspensão Totais (mg/L)	26	21	-21%	-92%	sem limite fixado	
Turbidez (UNT)	57	31	-46%	-91%	96%	100%
Cor Aparente (un. Pt-Co)	448	217	-52%	-92%	sem limite fixado	
Condutividade Elétrica (mS/cm)	546	588	+8%	-	sem limite fixado	

* Fonte: Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Disponível em <http://www.ambiente.sp.gov.br/>

A Tabela 1 demonstra que houve remoção significativa de Fósforo Total (91%), elemento de grande relevância para controle do processo de eutrofização do reservatório Billings. Por outro lado, houve baixa remoção de Nitrogênio Amoniacal (14%). A redução das concentrações de *Escherichia coli*, principal indicador da contaminação por esgotos de corpos d'água, foi elevada (90%), embora a concentração remanescente ainda seja elevada. Em relação à remoção de matéria orgânica, baseada na medida da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), o processo de flotação possibilitou obter eficiência de 53%, associada aos sólidos em suspensão presentes na água.

3. ESTIMATIVA DO APORTE DE POLUENTES AO RESERVATÓRIO BILLINGS PELA ELEVATÓRIA DE PEDREIRA

A estimativa da carga média de poluentes bombeada pela Usina Elevatória de Pedreira ao reservatório Billings partiu dos resultados do ponto de monitoramento da qualidade das águas do rio Pinheiros situado junto à elevatória (P4A), caracterizando exatamente a água que é bombeada ao reservatório. As amostras coletadas foram separadas em dois agrupamentos:

Grupo 1: Operação da flotação

Este grupo inclui os resultados das amostras coletadas nos maiores períodos de operação contínua da flotação. Foram selecionados, portanto, 88 dias do ano de 2008, definidos anteriormente.

Grupo 2: Operação de controle de cheias

Este grupo inclui os resultados das coletas realizadas nos horários em que a Elevatória de Pedreira realizou operações de controle de cheias, bombeando as águas do rio Pinheiros para o Reservatório Billings. Nesse período, as vazões variaram de 50 m³/s a 350 m³/s. Assim, estão reunidos nesta categoria os resultados das coletas realizadas em 17 dias:

- Outubro/07: dia 28;
- Novembro/07: dias 3 e 19;
- Dezembro/07: dias 7, 20 e 21;
- Janeiro/08: dias 13, 18 e 29;
- Fevereiro/08: dias 18 e 22;
- Abril/08: dias 14, 21 e 29;
- Maio/08: dia 2;
- Junho/08: dias 1 e 4.

Esta análise apresenta as estimativas da carga de Fósforo Total, Nitrogênio Amônico, Nitrogênio Nitrato, DBO e Sólidos em Suspensão Totais (SST).

A etapa inicial foi determinar a carga de poluentes bombeada por unidade de tempo ao reservatório Billings pela Elevatória de Pedreira. Dispondo dos registros da vazão bombeada em Pedreira em cada hora, fornecidos pela EMAE, multiplicou-se cada concentração obtida em laboratório pela vazão registrada no momento da coleta, obtendo-se uma taxa de bombeamento para aquele evento. Então, para cada grupo de amostras, foi determinada a média das taxas de bombeamento de cada poluente. Os resultados são apresentados na Figura 2.

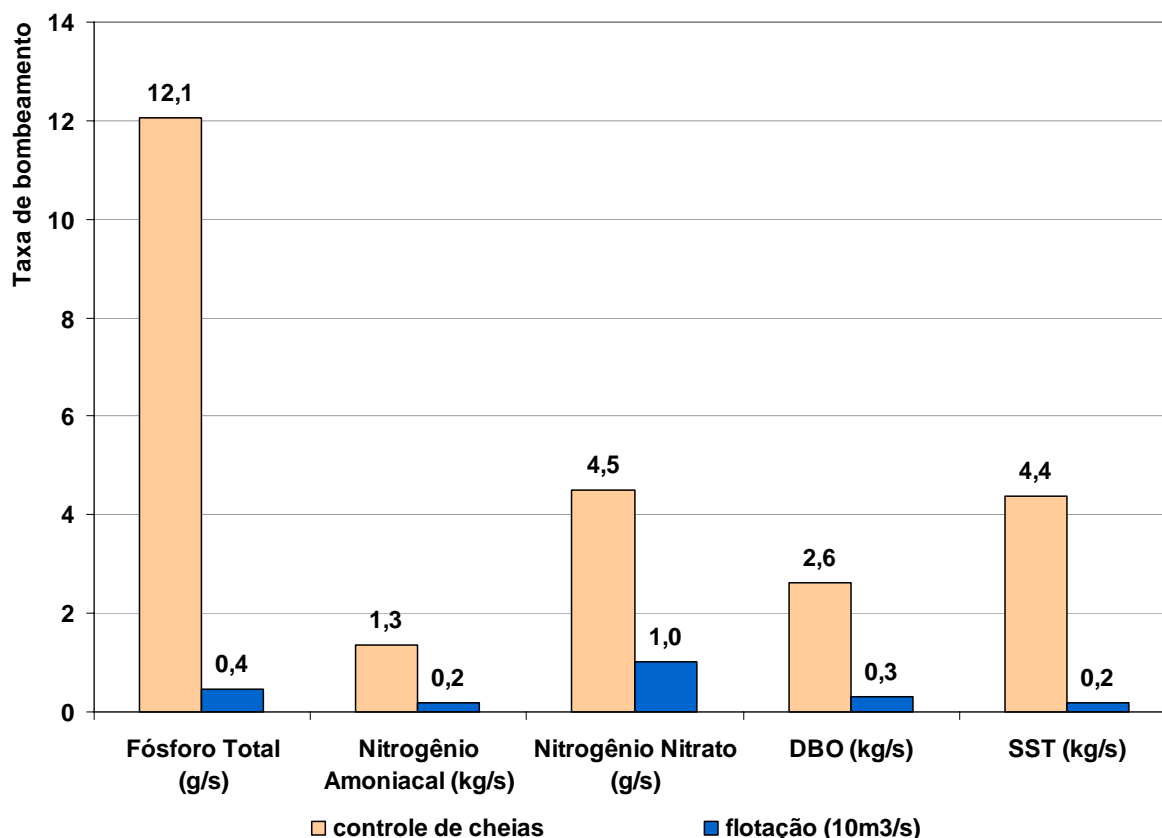


Figura 2 - Taxa de bombeamento de poluentes ao reservatório Billings por Pedreira em operações de flotação e de controle de cheia

Sabe-se que a carga de poluentes é maior nos primeiros instantes de um evento de chuva, efeito do arraste da matéria acumulada na superfície da bacia, a qual acaba sendo “lavada”, resultando em uma carga menor nos instantes finais do escoamento superficial. Uma vez que o grupo de resultados obtidos durante o controle de cheia engloba amostras coletadas em diferentes etapas do evento chuvoso, pode-se assumir que a taxa calculada representa de forma adequada a média de bombeamento durante o controle de cheias.

Os resultados das coletas nos 88 dias de flotação foram também empregados no cálculo da taxa média de bombeamento de poluentes na situação de vazão flotada igual a 50 m³/s. As taxas médias e desvio padrão obtidos para as condições de controle de cheias, flotação a 10 m³/s (Flotação Q10) e flotação a 50 m³/s (Flotação Q50) são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Taxa média de bombeamento de poluentes ao reservatório Billings em operações de controle de cheia, flotação de 10 m³/s e flotação de 50 m³/s

Variável de qualidade	Controle de Cheia		Flotação Q10		Flotação Q50	
	média	desvio padrão	média	desvio padrão	média	desvio padrão
Fósforo Total (g/s)	12,1	13,2	0,4	0,7	2,5	3,9
Nitrogênio Amoniacal (g/s)	1.342	1.304	185	56	1.025	287
Nitrogênio Nitrato (g/s)	4,6	1,4	1,0	0,4	5,5	1,3
DBO (g/s)	2.622	1.746	304	144	1.676	743
SST (g/s)	4.370	3.510	183	180	1.008	902

Conforme demonstra a Tabela 2, a taxa de bombeamento de Fósforo Total ao reservatório Billings durante os testes da flotação a 10 m³/s é cerca de 30 vezes menor do que a decorrente do controle de cheias. Estima-se também que o sistema de flotação, quando implementado de forma completa, irá resultar em taxas de bombeamento de Fósforo Total ainda bem inferiores, cerca de 5 vezes, que a obtida durante o controle de cheias. A mesma conclusão também pode ser aplicada aos Sólidos em Suspensão Totais.

Com relação ao Nitrogênio Amoniacal, ao Nitrogênio Nitrato e a DBO, as taxas de bombeamento durante a flotação a 10 m³/s também se mostraram menores que as obtidas durante o controle de cheias, embora a diferença não seja tão elevada como a observada para Fósforo Total e SST.

Considerando as taxas apresentadas na Tabela 2, foi calculada a carga total de poluentes bombeada ao reservatório Billings nos 88 dias de flotação e nos 17 dias de controle de cheia utilizados nessa análise comparativa. Os resultados são apresentados na Figura 3.

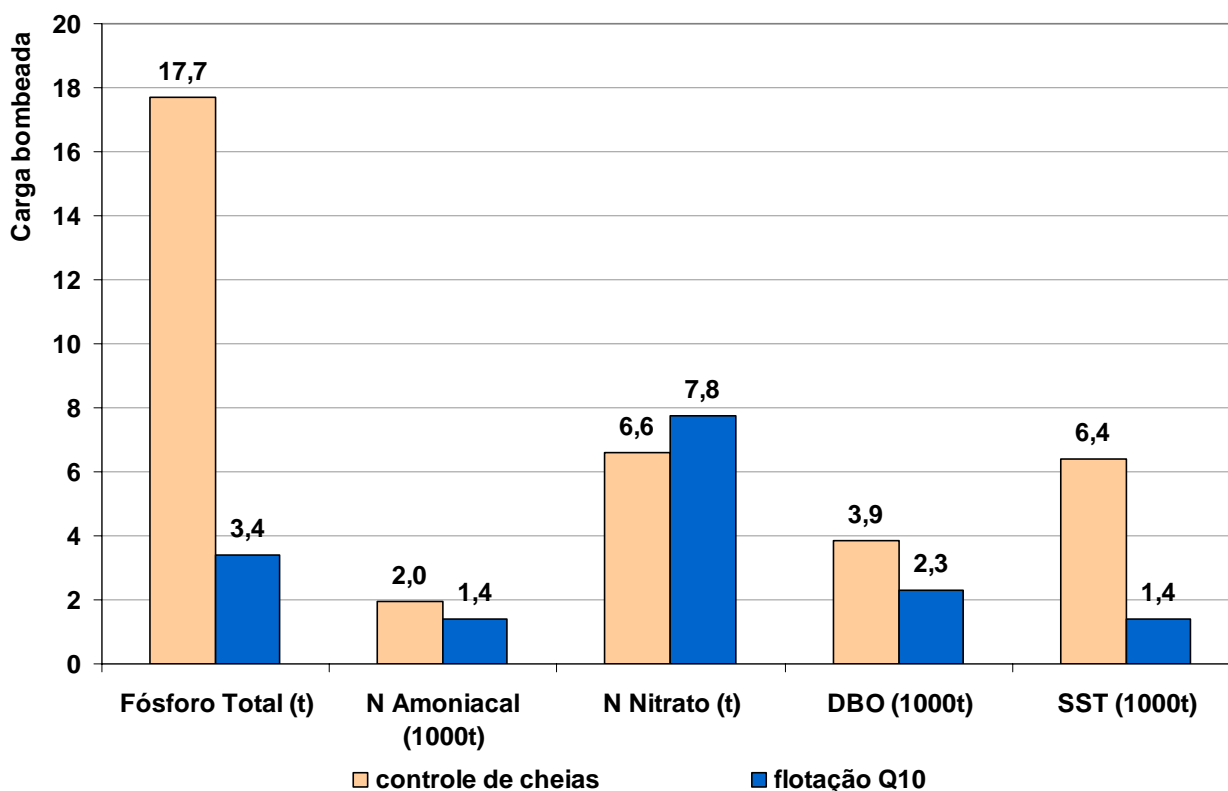


Figura 3 - Carga de poluentes bombeada ao reservatório Billings durante a flotação de 10 m³/s e durante o controle de cheias

Conforme o esperado, as operações de controle de cheias acarretam aportes de Fósforo Total, DBO e SST ao reservatório Billings bastante superiores àqueles decorrentes da realização dos testes do protótipo da flotação.

Também foi calculada a carga total de poluentes bombeados ao reservatório Billings nos 88 dias de flotação em outras duas condições: caso o bombeamento fosse de 50 m³/s (flotação Q50) e caso se fizesse o bombeamento de 50 m³/s sem flotação (Q50 sem flotar).

Novamente, foram considerados os resultados do monitoramento nos 88 dias de flotação e, para cada variável de qualidade da água, adotou-se a respectiva remoção média obtida durante os testes do protótipo da flotação, apresentada na Tabela 1.

A Figura 4 apresenta os valores de carga bombeada nessas duas situações em comparação com os obtidos para os 17 dias de controle de cheias.

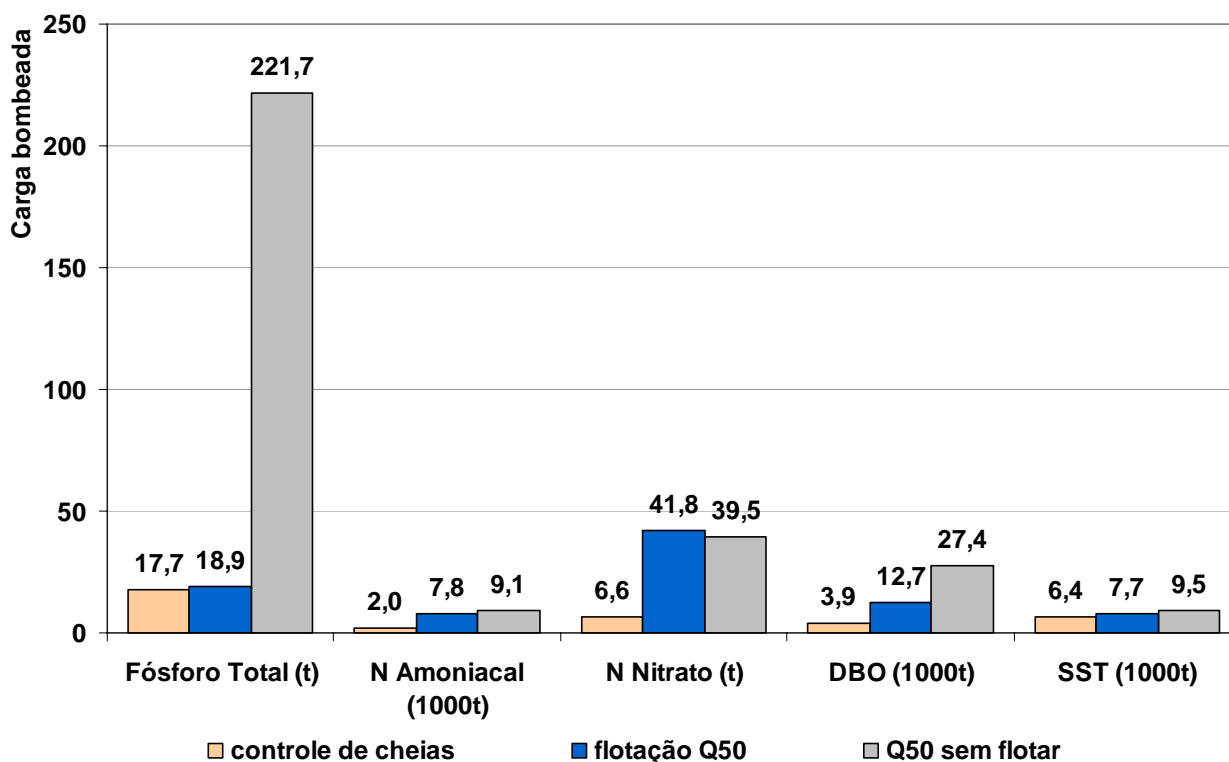


Figura 4 - Estimativa da carga de poluentes afluente ao reservatório Billings com bombeamento de 50 m³/s com e sem flotação.

A partir das taxas de bombeamento obtidas para cada variável de qualidade da água e apresentadas na Tabela 2, foi possível avaliar a carga média de poluentes que chegam ao reservatório Billings pela Usina Elevatória de Pedreira ao longo de um ano. Essa estimativa do aporte anual de cargas poluidora à Billings foi realizada para dois cenários:

Cenário 1:

Um ano hipotético no qual a flotação tenha funcionado durante 300 dias e que tenham sido realizadas operações de controle de cheia em outros 30 dias.

Cenário 2:

Um ano cuja ocorrência de controles de cheia corresponda à observada no ano de 2006, considerado um ano típico por representar melhor a hidrologia média das bacias da região.

As estimativas de carga média anual de poluentes bombeados à Billings para os dois cenários são apresentadas na sequência.

Cenário 1 (Ano hipotético): 300 dias de flotação e 30 dias de controle de cheia

A Figura 5 apresenta a carga média anual de poluentes bombeada ao reservatório Billings, comparando 300 dias de operação da flotação a 10 m³/s com 30 dias de controle de cheia.

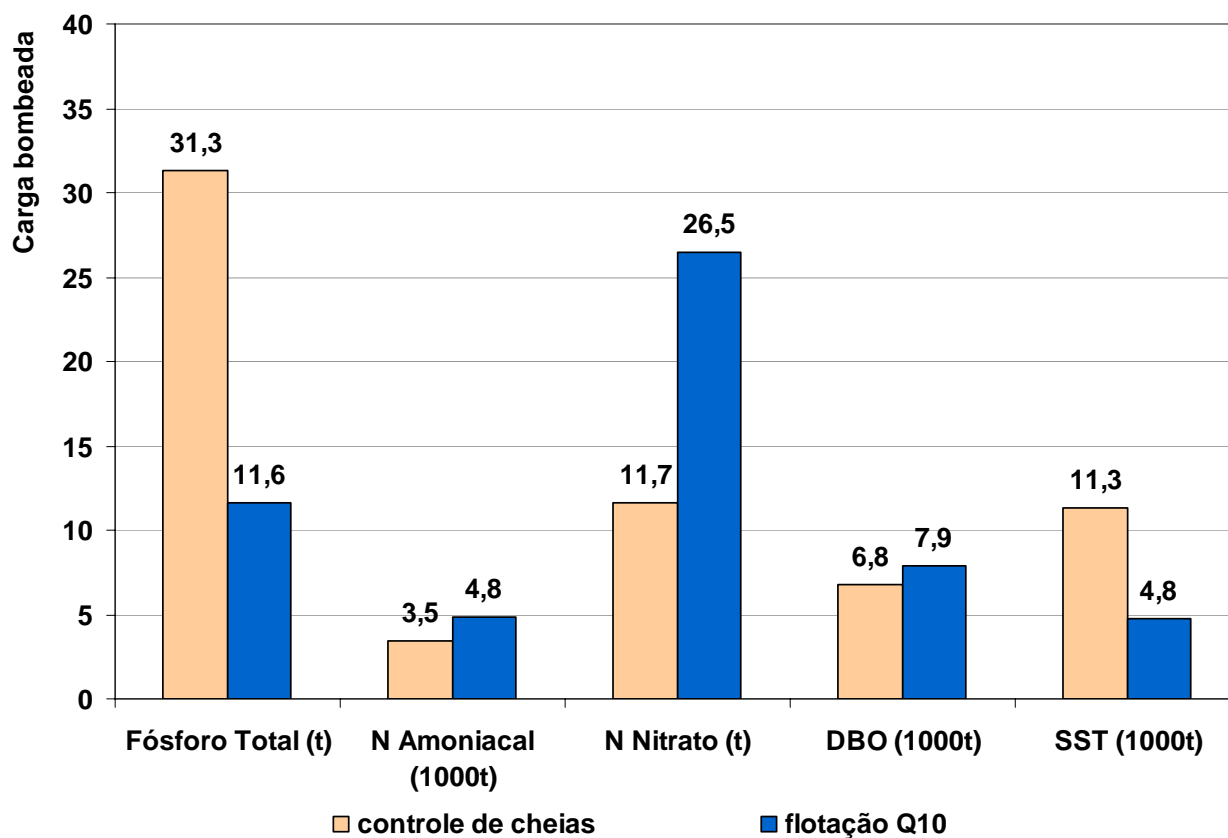


Figura 5 - Carga média anual bombeada à Billings considerando 300 dias de operação da flotação e 30 dias de controle de cheias.

Os resultados demonstram a elevada contribuição de 30 dias de controle de cheias no aporte de cargas ao reservatório Billings, principalmente Fósforo Total e SST, se comparados à contribuição do bombeamento de 10 m³/s com flotação durante 300 dias.

A Figura 6 compara a carga total de poluentes resultante de 3 operações distintas no ano hipotético: controle de cheias durante 30 dias, flotação a 50 m³/s durante 300 dias e bombeamento de 50 m³/s sem flotação durante 300 dias.

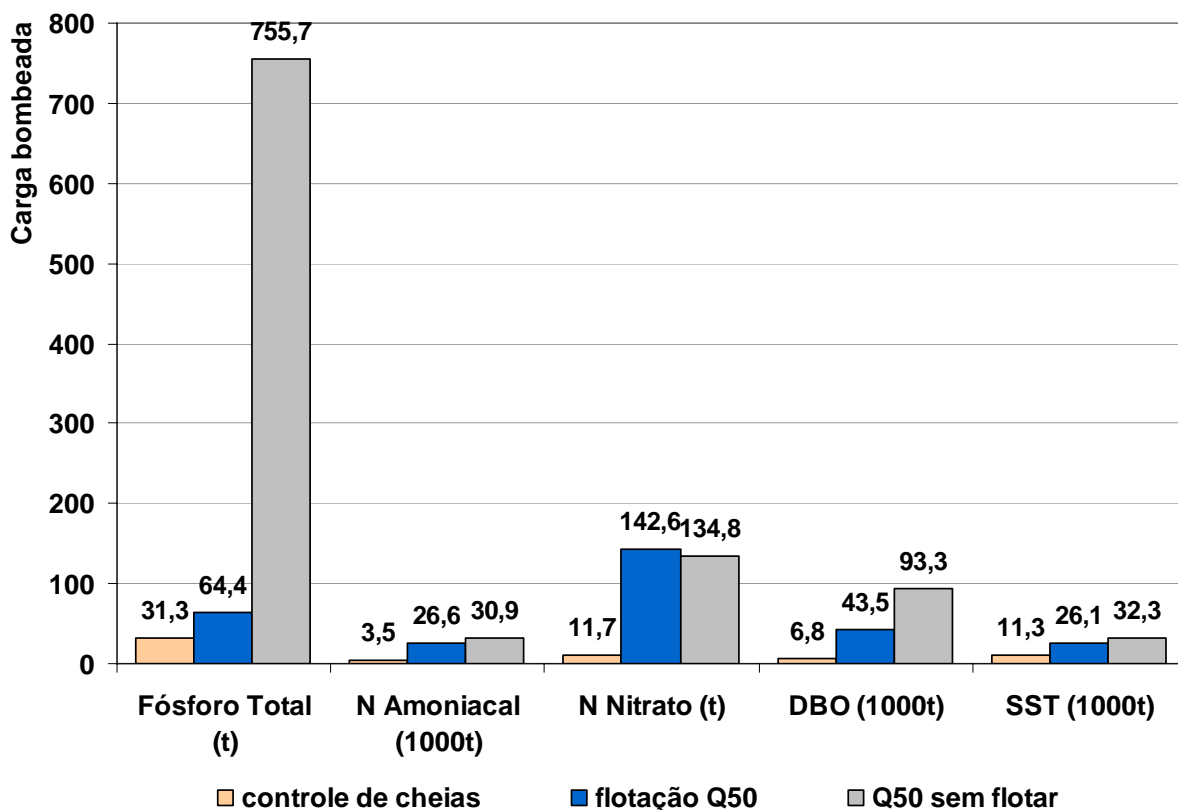


Figura 6 - Carga anual média de poluentes revertida à Billings em 30 dias de operação de controle de cheias e em 300 dias de bombeamento de 50 m³/s com e sem flotação.

Os resultados mostram que, mesmo quando a vazão flotada sobe de 10 para 50 m³/s, sua contribuição ao longo de 300 dias não se mostra muito superior à dos 30 dias de controle de cheias para Fósforo Total e SST.

A opção de se bombear 50 m³/s sem flotar mostra-se a de maior impacto para o reservatório Billings, principalmente para o Fósforo Total e DBO.

Cenário 2 (Ano típico): 256 dias de flotação e 68 dias de controle de cheias

A Figura 7 apresenta a carga de poluentes bombeada ao reservatório Billings em um ano considerado típico, com 68 dias de operações de controle de cheias e assumindo que durante 256 dias a flotação tenha operado a 10 m³/s.

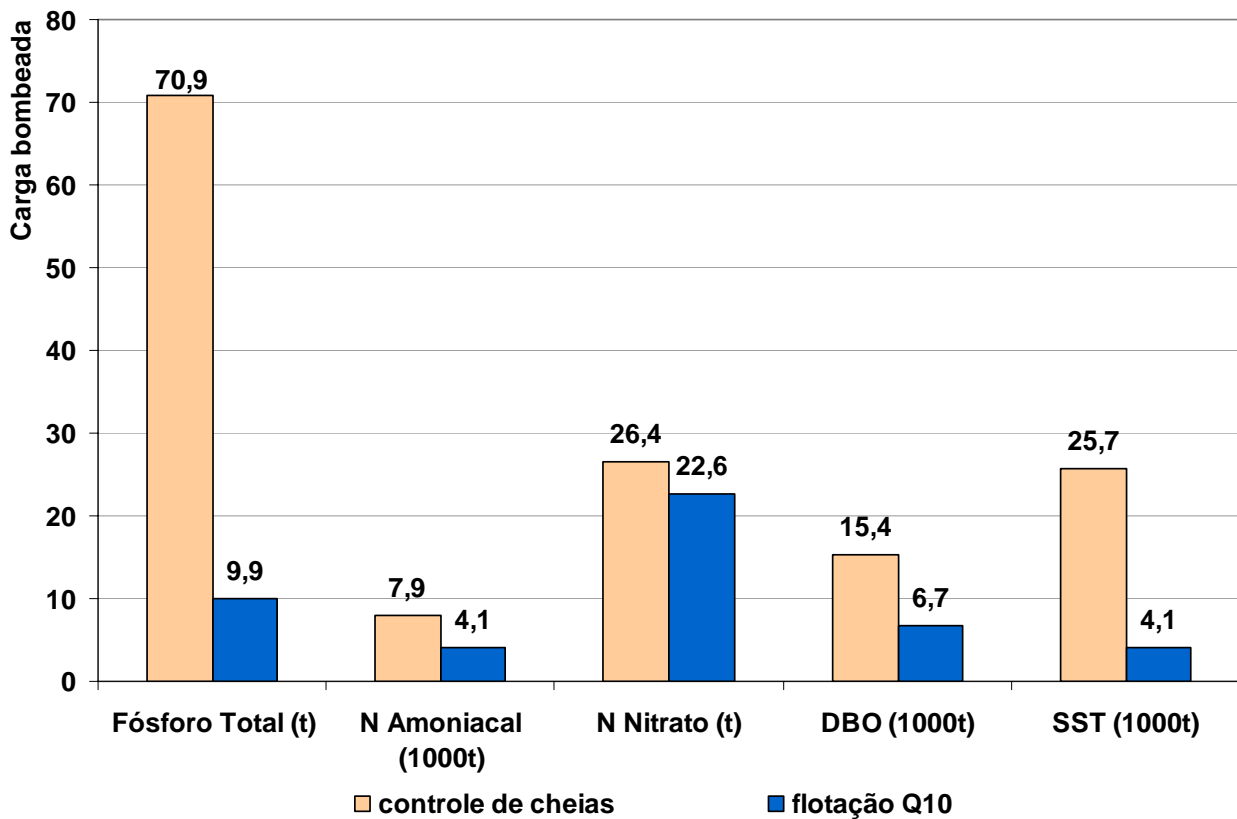


Figura 7 - Carga média anual bombeada à Billings em 68 dias de controle de cheias e 256 dias de flotação.

A contribuição do controle de cheias no ano típico mostra-se maior que a da flotação de 10 m³/s para todas as variáveis de qualidade da água. As diferenças entre controle de cheias e flotação também se mostraram maiores nesta situação.

A Figura 8 compara a carga total de poluentes resultante de 3 operações distintas no ano típico: controle de cheias durante 68 dias, bombeamento de 50 m³/s com e sem flotação durante 256 dias.

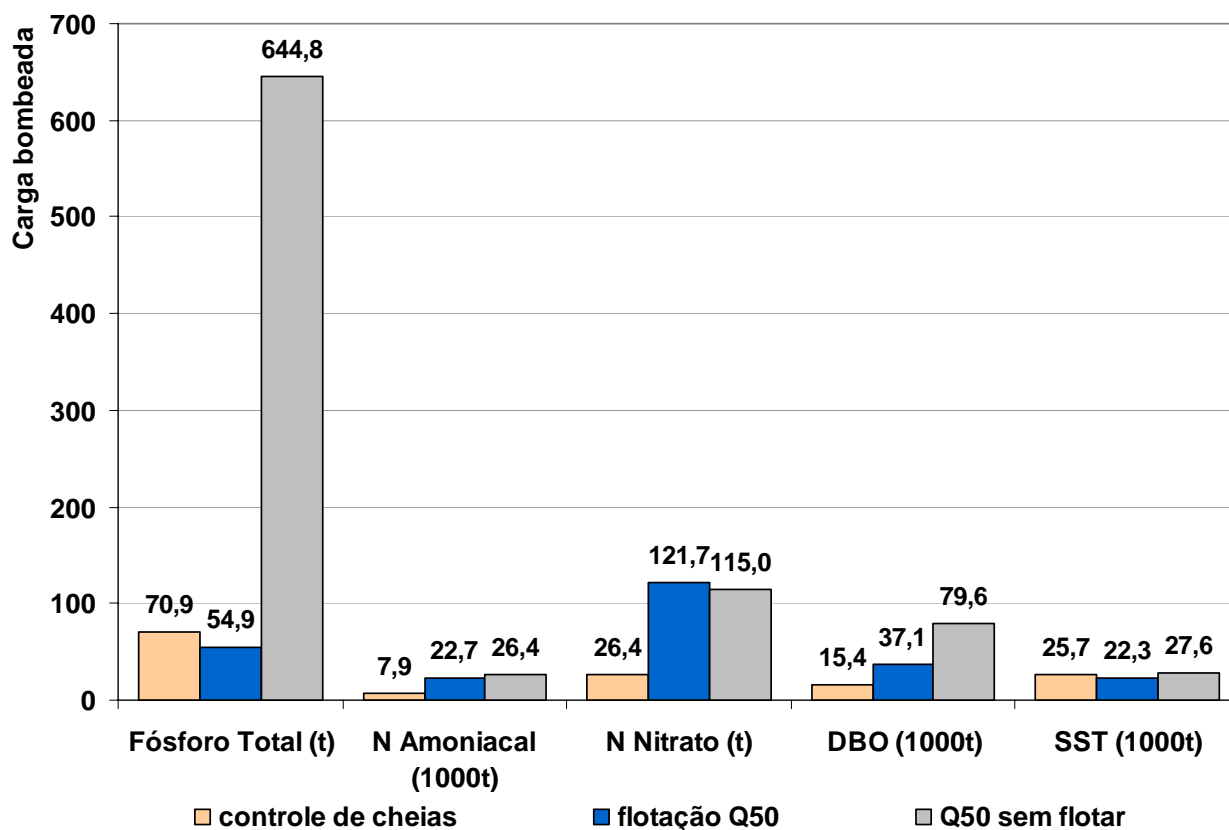


Figura 8 - Carga anual média de poluentes revertida à Billings em 68 dias de operação de controle de cheias e em 256 dias de bombeamento de 50 m³/s com e sem flotação.

Para o ano típico, observa-se que o aporte de cargas de controle de cheias em 68 dias superou o obtido em 256 dias de flotação a 50 m³/s para Fósforo Total e SST. Analogamente ao ano hipotético, as estimativas para o ano típico mostram que a opção de se bombear 50 m³/s sem flotar é a de maior impacto para o reservatório Billings, notadamente no caso do Fósforo Total.

4. CONCLUSÕES

A comparação desses resultados demonstra os ganhos obtidos pelo processo de tratamento por flotação no que se refere ao aporte de cargas poluidoras ao reservatório Billings. Para todas as variáveis de qualidade da água analisadas, à exceção de nitrato, as operações de controle de cheias apresentaram taxas de bombeamento de poluentes maior que a flotação a 50 m³/s. Como resultado, a estimativa da carga anual bombeada ao reservatório Billings por conta do controle de cheias apresentou contribuição comparável à da flotação de 50 m³/s para Fósforo Total e SST.

Além disso, o bombeamento de 50 m³/s sem flotar mostra-se responsável por considerável aporte de Fósforo Total, Nitrogênio Amoniacal, DBO e SST, o que indica a necessidade de se tratar

as águas do rio Pinheiros caso se pretenda, com a reversão, viabilizar o aumento da geração de energia hidrelétrica no complexo de Henry Borden.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos os que colaboraram para tornar possível este trabalho:

- Prof. Steven Chapra, da Tufts University
- Hidrometrista José Roberto Siqueira;
- Equipe de pesquisadores do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul;
- Eng. Fernando José Moliterno, gerente do Depto. de Engenharia da EMAE;
- Eng. Sebastião Deusdediti Lopes, gerente do Depto. de Gestão Ambiental da EMAE;
- Daniel Jesus de Lima, técnico em meio ambiente da EMAE;
- Jacqueline Punkas Funtowicz, analista administrativo da EMAE;
- César Cyrillo Lloret, estagiário da FCTH;
- Maria Cristina Santana Pereira, estagiária da FCTH.

BIBLIOGRAFIA

EMAE. Empresa Metropolitana de Águas e Energia, “O Complexo de Geração Henry Borden”, 2008. Disponível em: www.mp.sp.gov.br/portal/page/portal/Billings/O_que_e_flotacao

SÃO PAULO. Constituição do Estado de São Paulo, 1989. Disponível em: <http://www.legislacao.sp.gov.br/dg280202.nsf/a2dc3f553380ee0f83256cfb00501463/46e2576658b1c52903256d63004f305a?OpenDocument>