

# 21.02 – Modelagem Hidráulica 3D e Pré-dimensionamento de Sistema de Injeção de Oxigênio no Hipolímnio para o controle da Estratificação do Reservatório do Rio Grande

Ciclo 2021 - 2024

Angelo Augusto Saggio; José Antonio Oliveira de Jesus.

Prestadora: SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

Entidade Executora: Consultor Dr. Angelo Augusto Saggio

**Resumo** – O reservatório do Rio Grande enfrenta sérios problemas associados ao florescimento de algas, que oneram e dificultam os processos de captação e tratamento de água. São decorrentes das concentrações de nutrientes na água, em especial o fósforo. A Sabesp vem atuando na infraestrutura de coleta e tratamento de esgotos na região, contribuindo sobremaneira para a redução do aporte de nutrientes ao reservatório, mas sua presença nos sedimentos por vezes resulta em ressolubilização, provocada pela anoxia do hipolímnio devido à estratificação térmica. A injeção de oxigênio na base do hipolímnio é uma técnica que pode reduzir a ressolubilização do fósforo no sedimento. A construção de um modelo tridimensional da hidrodinâmica do reservatório e da propagação da pluma de oxigênio permitiu a verificação do fenômeno e o pré-dimensionamento de um sistema de injeção de oxigênio e caracterização de um plano de monitoramento da qualidade da água.

**Palavras-chave:** Modelagem hidrodinâmica tridimensional; Supersaturação; Monitoramento; Hipolímnio;

## Introdução

De modo a prevenir impactos nas operações de tratamento de água e avançar na gestão da qualidade do manancial, a Sabesp pretende limitar a disponibilidade de fósforo não apenas pela redução do aporte externo, mas também com a atenuação da liberação deste nutriente presente no sedimento, quando se tem condição anóxica na camada do fundo.

A injeção de oxigênio no fundo do reservatório nestas condições inibe a liberação de fósforo junto ao sedimento, reduzindo a carga interna desse nutriente e potencialmente contribuindo para a redução das florações de algas.

A injeção de oxigênio no hipolímnio caracteriza-se como uma ação de impacto ambiental praticamente nulo, e que pode desempenhar importante papel no manejo desse manancial.

A concentração de oxigênio nas camadas profundas é diretamente afetada pela circulação, que responde ao regime de ventos e demais variáveis meteorológicas, flutuações das vazões afluentes e defluentes e morfometria do corpo de água, entre outros tantos fatores, traduzindo-se no que se refere ao nosso problema em eventos de estratificação térmica, correntes e velocidades nas diferentes camadas de água, mistura vertical reduzida, e outros parâmetros possíveis de serem

avaliados por monitoramento e modelagem matemática tridimensional.

O conhecimento adquirido pela equipe técnica da SABESP durante a implantação/operação deste Sistema de oxigenação do hipolímnio anóxico, incluindo a execução dos programas de modelagem e monitoramento do reservatório, permitirá a melhoria da gestão tanto do reservatório do Rio Grande, como de outros mananciais operados pela SABESP.

## **Desenvolvimento e Metodologia**

### *A. Dados e Modelagens de referência*

Três estudos se destacam no apoio a este trabalho e forneceram dados históricos de monitoramento e de resultados de modelagens:

1. JICA – Plano Integrado de Melhoramento Ambiental da Represa Billings;
2. PDPA – Plano de Proteção e Desenvolvimento Ambiental da APRM Billings;
3. Monitoramentos Sabesp e Cetesb no reservatório do Rio Grande.

### *B. Modelagem Hidrodinâmica Tridimensional*

O modelo AEM3D, “Aquatic Ecosystem Model 3D” (Hodges & Dallimore, 2016), é uma ferramenta de modelagem numérica que engloba modelos hidrodinâmico, termodinâmico e biogeoquímico para simular a dinâmica tridimensional de corpos de água. O AEM3D simula as flutuações dos campos de velocidade, temperatura, salinidade, e compostos dissolvidos e particulados que determinam a biogeoquímica das águas superficiais sujeitas a forçantes naturais e antropogênicas como ventos, fluxos superficiais de luz e calor, aportes e retirada de tributários e estruturas de controle com seus regimes naturais e/ou operação incluindo, por exemplo,

aeradores e dispositivos de mistura artificial.

De forma simplificada, os sub-modelos ecológicos e qualidade de água formam uma biblioteca com as descrições de processos para produção primária e secundária, dos ciclos de nutrientes e de metais, da dinâmica do oxigênio e das partículas suspensas, e interações com os sedimentos (ex. precipitação, ressuspensão, dissolução e diagênese). O modelo é flexível permitindo ao usuário configurá-lo com apenas um processo, investigando seus fluxos internos, ou simular os diversos ciclos de nutrientes e carbono junto com o plâncton em estudos da eutrofização. Entre as variáveis modeladas destacam-se diversas formas de fósforo (dissolvidos e particulados nas formas orgânica e inorgânica na coluna de água e sedimentos), nitrogênio (nitrogênio amoniacal, óxidos, e formas orgânicas), carbono (orgânico dissolvido, inorgânico dissolvido e particulado), ferro (filtrado e total), manganês (filtrado e total), frações de sólidos suspensos, oxigênio dissolvido, patogênicos (tais como coliformes e *Cryptosporidium*) entre diversos outros grupos de organismos como diferentes grupos de fitoplâncton e organismos de níveis tróficos mais elevados (zooplâncton, peixes, plantas aquáticas).

### *C. Estimativa de Injeção de Oxigênio*

A estimativa de injeção diária de oxigênio foi realizada com apoio da modelagem matemática 3D. Admitindo-se a condição de anaerobiose nos períodos de estratificação térmica, a quantidade de oxigênio a ser injetado por dia foi calculada para atender a demanda bentônica do reservatório, atender a DBO do hipolímnio, oxidar o nitrogênio amoniacal no hipolímnio e manter o nível mínimo de oxigênio dissolvido no hipolímnio de 2 mg/L.

O desenvolvimento iniciou com a modelagem do regime hidrotérmico e a exploração da distribuição de pontos de injeção com traçadores inertes visando a mais rápida e ampla evolução da pluma no hipolimnio. A partir das informações geradas nesta primeira etapa, incorporou-se um traçador com decaimento representando o consumo de oxigênio no hipolimnio e a análise de sensibilidade a variáveis de qualidade de água da demanda diária de oxigênio nesta camada profunda.

### Resultados e Discussões

O reservatório do Rio Grande é sujeito a diversos ciclos de (a) estratificação térmica associada à anoxia resultante da alta demanda de oxigênio no hipolimnio e à dissolução de fosfatos dos sedimentos com alta carga interna e de (b) mistura vertical em diferentes porções do mesmo, disponibilizando o fósforo para a zona eufótica e potencializando florescimentos de algas. A estratificação térmica foi verificada em um longo histórico de observações de campo, e a simulação da hidrodinâmica reproduziu esse regime. Verificou-se que o reservatório chega a permanecer estratificado até metade de um ciclo sazonal com os períodos contínuos mais longos alcançando 9 semanas, mas com a grande maioria (mais de 60%) dos eventos de estratificação limitados a 2 semanas, normalmente sucessivas. O período de maior homogeneidade térmica, de acordo com as simulações, corresponde ao começo do inverno, meses de junho e julho, ocorrendo já em agosto os primeiros ciclos de estratificação.

A modelagem de traçadores permitiu selecionar o valor de 4.000 kg de oxigênio por dia para cobrir com boa garantia de tempo a maior parte dos cenários simulados, sendo este o valor

recomendado nesta etapa dos trabalhos.

### Conclusões e Contribuições

Além da inibição da liberação de fósforo, esse sistema também contribuirá na inibição de ferro e manganês dos sedimentos em condições anóxicas, o que será benéfico ao sistema de tratamento, permitindo a redução de insumos para tratamento na ETA Rio Grande. A implantação deste Sistema, em conjunto com os programas de modelagem e monitoramento, permitirá um maior conhecimento dos processos que ocorrem no reservatório e das respostas das ações de gestão, permitindo seu aprimoramento e replicação em outros reservatórios.

### Referências

1. B. P. Leonard. The ULTIMATE conservative difference scheme applied to unsteady one – dimensional advection. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 88:17–74, June 1991.
2. BID- Banco Interamericano de Desenvolvimento. Modelo Matemático Para as Bacias do Alto e Médio Tietê, na Região Metropolitana de São Paulo, Brasil. São Paulo, 2005.
3. Hodges, B.R., Dallimore, C. Aquatic Ecosystem Model AEM3D, User Manual. Hydronumerics: Docklands, Australia, 2016.
4. Hodges, B.R.; Imberger, J.; Saggio, A.; Winters, K.B. Modeling basin-scale internal waves in a stratified lake. *Limnol. Oceanogr.*, 45:1603–1620, 2000.