

## **PROPOSTA DE MODELO DE QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO DA UHE SANTO ANTÔNIO PARA SUPORTE À GESTÃO AMBIENTAL**

### **Objetivo**

O objetivo da modelagem de qualidade da água do reservatório para a fase operacional do empreendimento, depois de alcançada a estabilização hidráulica do reservatório, é de atuar como ferramenta de suporte à gestão ambiental, em complementação ao monitoramento pós-enchimento, seja fornecendo uma visão espacial mais ampla do quadro atual de qualidade da água, seja permitindo a elaboração de prognósticos de curto prazo a partir de cenários que se queira estudar.

Para isso, é necessário que se disponha, a qualquer momento, de um modelo calibrado e aferido que represente de maneira fidedigna o comportamento atual do reservatório, avaliado a partir do monitoramento. Em outras palavras, é necessário que se tenha um modelo implantado, que leve em conta as características morfológicas do reservatório, cujos parâmetros sejam periodicamente ajustados, de modo a tirar o máximo proveito do monitoramento existente. Nessas condições, a qualquer momento, tal modelo poderá ser acionado, mediante a introdução das condições de contorno necessárias para caracterizar o cenário em estudo, para produzir os prognósticos desejados, no curto prazo, seja como mapas de concentrações de constituintes no interior do reservatório, seja como histogramas representativos da evolução dessas concentrações no fluxo liberado para jusante.

O modelo de qualidade da água poderá ser empregado também para elaborar prognósticos associados a cenários de longo prazo, desde que se admita que as condições do cenário em estudo atuem sobre o reservatório em seu estado atual. Em outras palavras, o modelo poderia responder questões do tipo “o que aconteceria se eu submetesse o reservatório, nesse momento, a condições de contorno diferentes, associadas a um cenário futuro qualquer, como maior carga orgânica ou sedimentar, ou ainda a condições meteorológicas mais severas”.

Tais cenários podem ser definidos a partir de estudos envolvendo a ocupação das margens do reservatório, a evolução da população na área de influência direta, evolução do uso e ocupação do solo a montante, construção de novos empreendimentos, etc. O enchimento de um novo reservatório a montante é um cenário futuro típico, que poderia ser melhor avaliado a partir de um modelo de suporte à gestão do tipo aqui proposto.

A condição básica para a funcionalidade de um modelo dessa natureza é sua calibração e validação periódica e sistemática, levando em conta as informações obtidas do monitoramento de qualidade da água existente: trata-se da manutenção do modelo. Esta condição sendo atendida, cada avaliação de um cenário se resume à definição das novas condições de contorno associadas ao mesmo, à introdução dessas condições no modelo e à simulação da evolução da qualidade da água no reservatório e a jusante: trata-se da utilização do modelo.

Esse documento define a metodologia proposta para a modelagem e os procedimentos propostos para manutenção periódica do modelo e para sua utilização eventual, cada vez que se queira analisar novos cenários, avaliar os impactos associados e as possibilidades de medidas mitigadoras.

## Metodologia

A metodologia proposta para a modelagem baseia-se na utilização de um modelo bidimensional integrado lateralmente (2DV), que simula numericamente a operação do reservatório já existente, com a assimilação do maior número possível de parâmetros medidos no monitoramento. Visa subsidiar uma ferramenta de gestão para o reservatório hidraulicamente estabilizado, através de um processo contínuo de calibração, que permita realizar prognósticos de curto prazo e as subsequentes realimentações do modelo para outras sucessivas calibrações e validações.

Para isto, pretende-se alimentar o modelo com uma ampla gama de parâmetros físicos, químicos e biológicos, obtidos do monitoramento limnológico em tempo real, que serão utilizados como dados de entrada e como pontos de verificação.

Com este processo, pretende-se ajustar os coeficientes internos mais importantes do modelo CE-QUAL-W2, até a obtenção do melhor ajuste, que será verificado através dos pontos de controle. Repetindo-se o processo de forma sucessiva, de maneira a criar uma ferramenta de gestão baseada em um modelo ajustado e confiável.

O processo de calibração e validação do modelo se dará de forma contínua, de forma que os novos resultados provenientes do monitoramento sejam incorporados ao mesmo, para novos ajustes, calibrações e validações. A cada momento que se queira utilizar o modelo, o mesmo deve estar apto, calibrado e validado, de forma a proporcionar resultados confiáveis.

A abrangência do modelo bem como o número de parâmetros simulados poderão ser modificados ao longo do processo à medida que novos resultados sejam incorporados ao mesmo, sempre que seja verificada esta necessidade.

## Parâmetros Simulados

Na modelagem proposta serão simulados os mesmos parâmetros já contemplados nas modelagens anteriores, durante as fases de implantação do empreendimento, a saber:

- Temperatura da Água (°C);
- Idade da Água (dias);
- Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L);
- Oxigênio Dissolvido;
- Sólidos Suspensos (SST, mg/L);
- Ortofosfato (mg/L);
- Nitrato (mg/L); e
- Nitrogênio Amoniacal (mg/L).

Além desses parâmetros básicos, poderão se incluídos outros, contribuindo para uma melhor avaliação da qualidade da água do reservatório, sempre que o acompanhamento da qualidade da água do reservatório indicar essa necessidade. Por exemplo:

- Para uma estimativa do nitrogênio total e do fósforo total poderão ser inseridos como dados de entrada no modelo outras frações de fósforo e nitrogênio, importantes para quantificar o metabolismo biológico, tais como: nitrogênio orgânico refratário, nitrogênio orgânico dissolvido, nitrogênio orgânico particulado, fósforo orgânico refratário, fósforo orgânico dissolvido e fósforo orgânico particulado;
- Os três maiores grupos de fitoplâncton (obtidos dos dados de monitoramento);
- Clorofila – estimativa a partir dos valores de fitoplâncton.
- Este processo dependerá, naturalmente, dos resultados contínuos do monitoramento e das demandas originadas ao longo do tempo.

Além dos dados do monitoramento, serão adicionadas ao modelo as cargas referentes ao despejo de esgoto pontual e difuso da cidade de Porto Velho e do distrito de Jaci-Paraná, de forma a avaliar o impacto destes na qualidade da água do reservatório e do rio Madeira.

Tomando por base os estudos realizados até o momento, pode-se concluir que a inclusão destas cargas não deverá provocar mudanças significativas na qualidade da água do reservatório e no trecho de jusante, visto que a magnitude das vazões afluentes é muito superior às vazões efluentes nas duas localidades, mesmo considerando-se uma projeção da população para 30 anos. Mesmo assim, estas funcionalidades do modelo poderão ser úteis para avaliação de cenários futuros ou para argumentação em casos de dúvida.

É importante ressaltar que, para as calibrações e/ou validações do modelo, é necessário que os dados de qualidade da água do monitoramento sejam disponibilizados em conjunto com os demais dados reais de hidrologia (afluências e defluências) e de clima, registrados em períodos que contenham as datas das coletas da limnologia, para evitar que os parâmetros sejam distorcidos pela introdução de informações incompatíveis.

## Modelo Utilizado

A modelagem matemática de qualidade da água do reservatório da UHE Santo Antônio está sendo realizada com auxílio do modelo CE-QUAL-W2, desenvolvido e distribuído pelo U.S. Army Corps of Engineers, que considera em seu equacionamento o regime de vazões afluentes, as características do reservatório, as alterações de regime hídrico provocadas pelo mesmo, os processos biogeoquímicos, a autodepuração, digestão da biomassa submersa e outros aspectos relevantes para a modelagem de ambientes aquáticos.

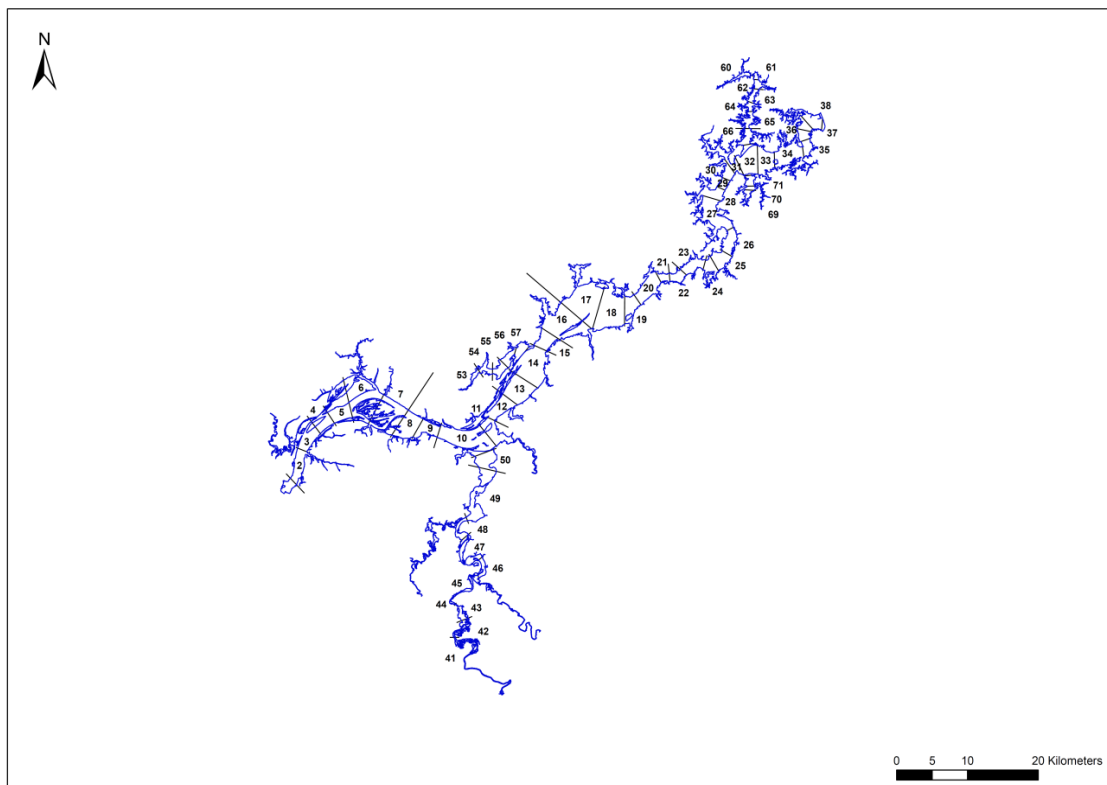
O CE-QUAL-W2 é um modelo bidimensional (longitudinal/vertical) hidrodinâmico e de qualidade da água que resulta de um longo desenvolvimento realizado pela Waterways Experiment Station, do U.S. Army Corps of Engineers, sendo hoje uma ferramenta de uso difundido em todo o mundo.

O modelo está habilitado para simulações de longo período e pode ser aplicado a rios, estuários ou partes de corpos hídricos, desde que sejam especificadas as necessárias condições de contorno de montante ou jusante. Podem ser simulados múltiplos trechos, como o caso de reservatórios dendríticos, e também diversos corpos hídricos interligados em série.

A versão mais atual, que está sendo empregada na modelagem, CE-QUAL-W2 ver 3.6 (2008), apresenta uma série de facilidades, como utilitários de pré e pós-processamento, úteis por proporcionar maior rapidez na modelagem e maior flexibilidade na apresentação dos resultados.

Como este modelo assume uma homogeneidade lateral, é ideal para aplicação em corpos hídricos relativamente longos e de pequena largura que apresentem importantes gradientes longitudinais e verticais de qualidade da água. Estas características justificam sua escolha para a realização dos estudos de qualidade da água do reservatório da UHE Santo Antônio, no rio Madeira, que possui comprimento superior a 100 km e largura média inferior a 2,0 km. A eficiência do modelo nas aplicações do rio Madeira foi comprovada durante as fases de implantação da UHE Santo Antonio, através da comparação entre os prognósticos realizados e os resultados observados durante o enchimento e estabilização do reservatório. **A Figura Erro! Nenhum texto com o estilo especificado foi encontrado no documento.** e a **Figura 2**, a seguir, ilustram as segmentações horizontal e vertical, adotadas para o modelo do reservatório da UHE Santo Antônio, que apresenta as seguintes características:

- Cada segmento é discretizado, verticalmente, em camadas de 2,0 m de altura;
- Os principais afluentes (rio Jaci-Paraná e igarapés Ceará, Jatuarana e Teotônio) foram segmentados e modelados em conjunto com o corpo principal. A discretização vertical dos segmentos dos afluentes seguiu a mesma lógica do corpo principal;
- Foram previstos 38 segmentos no corpo principal, 10 segmentos no rio Jaci-Paraná, 5 segmentos no igarapé Ceará, 7 segmentos no igarapé Jatuarana e 3 segmentos no igarapé Teotônio.



**Figura Erro! Nenhum texto com o estilo especificado foi encontrado no documento. – Discretização horizontal do modelo do reservatório da UHE Santo Antônio.**

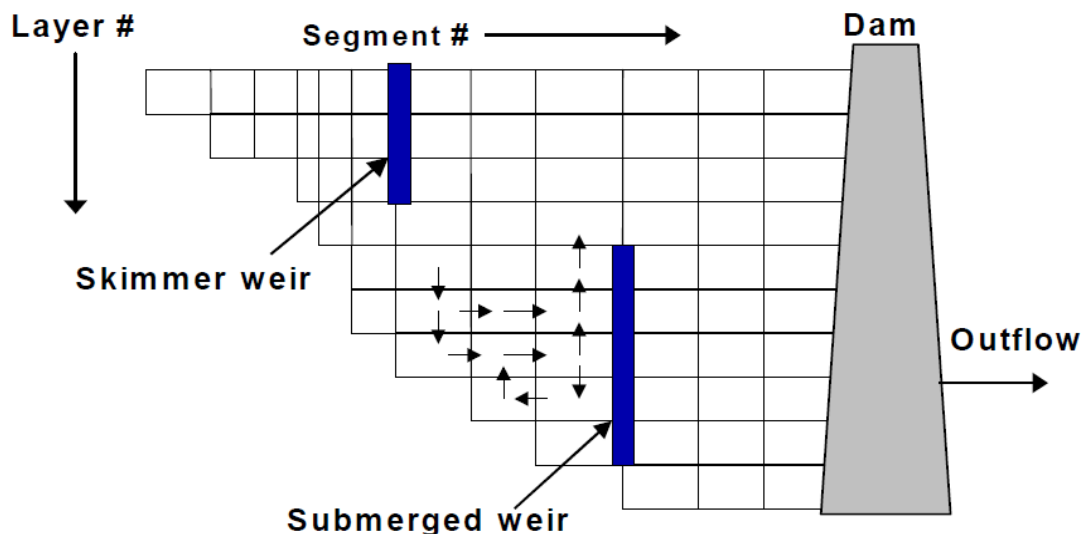


Figura 2 – Esquema da discretização vertical do modelo bidimensional (2DV).

## Resultados do Modelo

Pretende-se que o modelo ajustado seja uma ferramenta útil na gestão ambiental do reservatório, particularmente no caso dos corpos laterais, e que seus resultados sejam utilizados para realizar prognósticos, que deverão ser continuamente verificados e validados através de novas coletas de monitoramento.

É conveniente que o planejamento de novas campanhas leve em consideração os resultados prognosticados pelo modelo, de forma que seja possível confrontar os resultados da simulação e os dados medidos *in loco*.

O resultado do processo contínuo de monitoramento e de modelagem resultará em um banco de dados, que também poderá ser útil na gestão do reservatório e utilizado como subsídio para novas intervenções que se façam necessárias.

Para verificação da influência do reservatório no trecho imediatamente à jusante, como nas outras etapas, será utilizado um modelo unidimensional, Qual-2kw, alimentado com os resultados obtidos do modelo utilizado para o reservatório.

## Procedimentos Propostos Para Calibração, Validação e Utilização do Modelo

Conforme já adiantado, o modelo precisa estar apto à utilização a qualquer momento. Isso requer um trabalho sistemático de calibração e validação de seus parâmetros, tomando por base o monitoramento limnológico realizado, que deverá ser incorporado à base de dados do modelo.

A cada novo relatório de monitoramento, os parâmetros do modelo devem ser analisados e, caso necessário, ajustados de modo a proporcionar uma melhor aderência entre as concentrações simuladas e aquelas observadas. Trata-se de um procedimento sistemático, cuja periodicidade deve ser ajustada à periodicidade de consolidação dos dados do monitoramento limnológico e à análise prévia dos dados obtidos em cada nova campanha. A condução desse processo, embora seja necessariamente parte das atividades normais de

gestão ambiental do empreendimento, deve ser tratada como um serviço a ser realizado por especialistas em modelagem matemática de qualidade da água, devido à complexidade inerente a este tipo de modelo.

Sempre que for demandado, o modelo poderá ser empregado para simular um cenário qualquer proposto, expresso em termos de suas condições de contorno. Esta utilização demandará três conjuntos de atividades:

- Atividades associadas à gestão ambiental do empreendimento, a partir das quais serão definidos os cenários a serem modelados;
- Atividades associadas à modelagem propriamente dita, onde os cenários propostos serão transformados em dados de entrada do modelo e transformados, após a simulação, em prognósticos de qualidade da água associados aos cenários; e
- Atividades de análise e gestão, onde os resultados da modelagem e seus prognósticos serão transformados em informações a serem utilizadas na tomada de decisões.

O primeiro conjunto de atividades é inerente ao processo de gestão ambiental do empreendimento, devendo ser conduzido diretamente por equipe própria da SAE, dedicada ao assunto. Devido à natural complexidade dos modelos de simulação da qualidade da água, é fundamental que o segundo conjunto de atividade seja conduzido por especialistas, sendo tratado, portanto, como um serviço. Já o terceiro conjunto é inerente à gestão ambiental do empreendimento, devendo ser conduzido por equipe interna. Em alguns casos, dependendo do prognóstico de qualidade da água realizado (segundo conjunto), pode ser interessante envolver, nessa fase, especialistas externos em modelagem de qualidade da água. Os dois últimos conjuntos de atividades têm caráter eventual, sendo demandados apenas quando for necessária a realização de simulações de cenários.