

## **PROGNÓSTICO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO DA UHE SANTO ANTÔNIO, RIO MADEIRA, RO: COMPARAÇÃO ENTRE PREVISTO E OBSERVADO EM CAMPO**

*Carolina F Mariani<sup>1\*</sup>; Renato Dell'Erba Ortega<sup>2</sup>; Gina Boemer<sup>3</sup>; João D. Arantes Jr.<sup>4</sup>; Michele Lima<sup>5</sup>; Anderson Rocha<sup>6</sup>; Dario Pires de Carvalho<sup>7</sup>; Márcia Grandezi<sup>8</sup>; Maria Clara R Xavier<sup>9</sup>; Amanda Morais<sup>10</sup> & Jonatas Moreira<sup>11</sup>*

**Resumo** – A Usina Hidrelétrica (UHE) Santo Antônio possui 3.150,4 MW de potência instalada, e está localizada no rio Madeira, em Porto Velho, Rondônia. O presente trabalho objetivou comparar os resultados da modelagem prognóstica da qualidade da água, realizada com o modelo CE-QUAL-W2, e os valores medidos de Oxigênio Dissolvido (OD) em perfis diários durante os meses de enchimento do reservatório até o período de estabilização. O modelo foi bem sucedido na previsão de padrões, incluindo o comportamento da água do rio Madeira (mais densa e oxigenada), que adentrou por debaixo da água do igarapé Jatuarana I. Apesar dos ajustes necessários para a comparação entre a concentração de OD prognosticada e aquela observada em campo (quanto a datas e comparações com vazões diferentes), no caso do rio Madeira e igarapé Teotônio, o modelo previu padrões de concentrações de OD de forma bastante acurada. No caso dos pontos no rio Jaci-Paraná e Jatuarana I, o modelo foi mais otimista do que o observado. O uso do modelo como ferramenta de gestão refletiu no sucesso em qualidade ambiental, posto que não houve ocorrência ambiental ligada a fauna aquática durante o enchimento e estabilização do reservatório da UHE Santo Antônio.

**Palavras-Chave** – Modelagem de Qualidade de Água, Usina Hidrelétrica, rio Madeira.

## **WATER QUALITY PROGNOSIS IN SANTO ANTONIO HYDROPOWER PLANT RESERVOIR, MADEIRA RIVER, RO: COMPARISON BETWEEN MODEL AND FIELD OBSERVATION**

**Abstract** – Santo Antonio hydropower plant has 3150.4 MW of installed potency, and is located in Madeira river, Porto Velho, Rondonia State. The objective of the present work was to compare results from water quality model (CE-QUAL-W2) and actual Dissolved Oxygen (DO) measured during the months of filling up and stabilization of the reservoir. The model succeeded in predicting patterns, including Madeira river water (denser and more oxygenated) sinking down under igarapé Jatuarana I water. Although some adjusts were necessary in order to allow comparisons (such as dates and water fluxes), and considering the differences between modeled and actual river flow, predicted and observed DO were quite accurate for Madeira river and igarapé Teotonio. For Jaci-

<sup>1</sup>Santo Antônio Energia, [carolinamariani@santoantonioenergia.com.br](mailto:carolinamariani@santoantonioenergia.com.br)

<sup>2</sup>Odebrecht Infraestrutura, [renatoortega@odebrecht.com](mailto:renatoortega@odebrecht.com)

<sup>3</sup>Ecology and Environment do Brasil, [gina.boemer@ecologybrasil.com.br](mailto:gina.boemer@ecologybrasil.com.br)

<sup>4</sup>Ecology and Environment do Brasil, [joao.durval@ecologybrasil.com.br](mailto:joao.durval@ecologybrasil.com.br)

<sup>5</sup>Ecology and Environment do Brasil, [michele.lima@ecologybrasil.com.br](mailto:michele.lima@ecologybrasil.com.br)

<sup>6</sup>Ecology and Environment do Brasil, [anderson.rocha@ecologybrasil.com.br](mailto:anderson.rocha@ecologybrasil.com.br)

<sup>7</sup>Ecology and Environment do Brasil, [dario.pires@ecologybrasil.com.br](mailto:dario.pires@ecologybrasil.com.br)

<sup>8</sup>Ecology and Environment do Brasil, [marcia.grandezi@ecologybrasil.com.br](mailto:marcia.grandezi@ecologybrasil.com.br)

<sup>9</sup>Hicon Engenharia e Recursos Hídricos, [clara@hicon.com.br](mailto:clara@hicon.com.br)

<sup>10</sup>Hicon Engenharia e Recursos Hídricos, [amanda@hicon.com.br](mailto:amanda@hicon.com.br)

<sup>11</sup>Hicon Engenharia e Recursos Hídricos, [jonatas@hicon.com.br](mailto:jonatas@hicon.com.br)

Paraná river and Igarapé Jatuarana I, the model was more optimistic. The use of the model as a management tool reflected the success in environmental quality, since there was no environmental occurrence regarding aquatic fauna during filling up and stabilization of Santo Antonio hydropower plant reservoir.

**Keywords** – Water Quality Modeling, hydropower plant, Madeira river.

## INTRODUÇÃO

A Usina Hidrelétrica (UHE) Santo Antônio possui 3150,4 MW de potência instalada, e está localizada no rio Madeira, a 7 km da cidade de Porto Velho, Rondônia. O rio Madeira, de acordo com Sioli e Klinge (1964), é classificado como rio de águas brancas, em decorrência do material em suspensão que carrega alta concentração de sais minerais em solução (condutividade elétrica: 60 – 70  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e pH próximo ao neutro: 6,5 – 7,3). O rio Madeira é o principal afluente da margem direita do rio Amazonas, em função do tamanho de sua bacia hidrográfica e da contribuição em volume de água para a Bacia Amazônica. Em Porto Velho, a vazão média do rio Madeira no período histórico (1967 a 2012) é de 18.718  $\text{m}^3/\text{s}$ , sendo que a vazão máxima diária registrada atingiu 48.565  $\text{m}^3/\text{s}$  em 14 de abril de 1984. A vazão mínima registrada ocorreu em 10 de setembro de 2005 atingindo 2.588  $\text{m}^3/\text{s}$  (PCE, 2013). A tecnologia de turbinas tipo bulbo adotada na usina permitiu a utilização do potencial de geração de energia em função da vazão do rio, possibilitando a criação de um reservatório com área de 354  $\text{km}^2$ , não considerando o efeito de remanso (incremento de 2.5 vezes da área original ocupada pelo rio Madeira em suas cheias anuais), o que representa uma área pequena em relação a sua potência (relação área/potência = 0,11  $\text{km}^2/\text{MW}$ ).

As obras da UHE Santo Antônio iniciaram em 2008, com a Licença de Instalação (LI), emitida para a Santo Antônio Energia, concessionária responsável pela implantação, operação e comercialização da energia gerada na usina. Em setembro de 2011, com a Licença de Operação (LO), foi iniciado o enchimento do reservatório. O processo de obtenção de LO envolveu a elaboração de um prognóstico de qualidade de água, por meio de modelo matemático bidimensional, visando à gestão do enchimento e balizando decisões relativas a supressão vegetal, época e velocidade de enchimento (Hicon, 2011). Durante o enchimento e estabilização do reservatório foi realizado monitoramento diário em perfil de parâmetros básicos de qualidade de água.

O presente trabalho tem por objetivo apresentar uma comparação entre os resultados da modelagem prognóstica da qualidade da água e os valores de Oxigênio Dissolvido (OD) registrados durante os meses de enchimento até o período de estabilização do reservatório da UHE Santo Antônio.

A análise comparativa realizada teve por finalidade obter uma realimentação do processo de modelagem voltada para prognóstico de qualidade da água em corpos hídricos resultantes de ações antrópicas, no qual diversos parâmetros são arbitrados, já que não é possível obtê-los através de medição direta, uma vez que frequentemente o corpo hídrico modelado ainda não existe. Desse modo, esta análise não se destina a uma “calibração” do modelo, uma vez que seu emprego como ferramenta de prognóstico do enchimento do reservatório não será mais demandado: destina-se, sim, a produzir subsídios para orientar aplicações futuras desse tipo de modelagem preditiva, quando normalmente se trabalha sem a possibilidade de observação direta dos parâmetros.

## METODOLOGIA

O modelo utilizado para a realização do prognóstico foi CE-QUAL-W2, desenvolvido pela Waterways Experiment Station, do U.S. Army Corps of Engineers (Cole e Buchak, 1995; Cole e Wells, 2006), sendo uma ferramenta de uso difundida em todo o mundo. Este modelo permitiu a discretização do reservatório em um domínio bidimensional e a simulação do comportamento de uma série de parâmetros físico-químicos de qualidade da água ao longo do tempo e do espaço. A modelagem considerou o histórico do monitoramento limnológico realizado até então (2 anos hidrológicos, com campanhas trimestrais), além das características específicas da água nos meses do enchimento e das cargas orgânicas esperadas (floresta em pé, serapilheira, resíduo de supressão vegetal, rebrota, pastagem, etc) no rio Madeira e nos principais tributários. A Figura 1 apresenta o trecho do rio Madeira estudado, com as seções consideradas e os pontos de amostragem do monitoramento limnológico, cujos dados foram usados como entrada para a modelagem. Foram modelados os parâmetros idade da água, sedimentos, temperatura, Oxigênio Dissolvido (OD), pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), nitrogênio amoniacal, nitrato e ortofosfato.

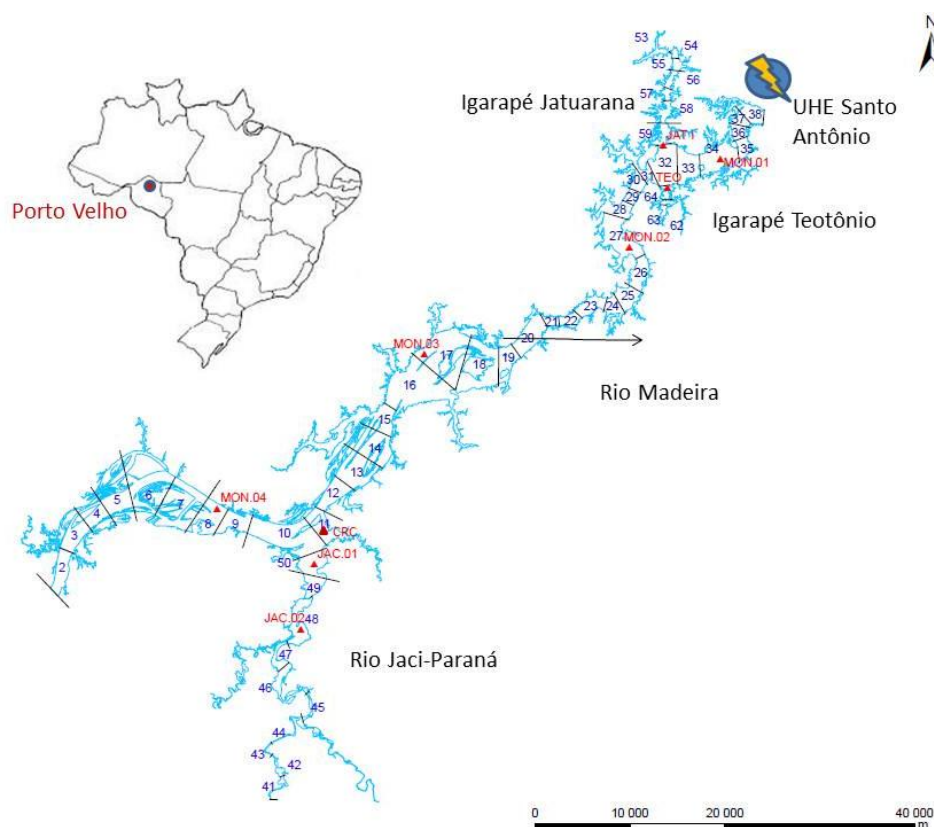


Figura 1 – Trecho do rio Madeira e tributários modelados. Seções e pontos de amostragem do monitoramento limnológico considerados para a formulação do modelo.

O resultado da modelagem, bem como o conjunto de dados do monitoramento, foi utilizado para o estabelecimento de valores de corte de OD, aos quais estavam associadas emissões de alerta, visando à adoção de ações para proteção da vida aquática. Para tanto, foi considerada também as espécies de peixe presentes, que, na Amazônia, são tolerantes à hipoxia. O valor proposto de 3,0 mg/L, apesar de inferior ao limite de 5 mg/L estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 para

águas doce de Classe 2 (como é o caso do rio Madeira e seus afluentes), reflete condições naturais observadas nos rios e igarapés avaliados, sobretudo nos águas altas, vazante e enchente, quando as concentrações atingem os menores níveis. A referida legislação excetua no 2º Parágrafo do Artigo 38 parâmetros que excedam aos limites devido às condições naturais.

Durante o enchimento (setembro/2011 a janeiro/2012) e estabilização do reservatório (janeiro/2012 a junho/2012), foi realizado monitoramento diário de parâmetros limnológicos básicos (pH, temperatura, OD, condutividade elétrica e turbidez) com auxílio de sonda multiparâmetros (YSI 6920), em perfis verticais em pontos no rio Madeira e nos tributários. Os dados observados em campo foram utilizados para comparação com o prognosticado pelo modelo. Em função da importância relativa à fauna aquática, a comparação apresentada neste trabalho foi direcionada para os dados de OD somente.

Duas abordagens comparativas foram adotadas. A primeira abordagem utilizou a integral dos resultados de cada perfil na vertical, para que resultasse em uma concentração média associada ao ponto/segmento de monitoramento. Isso porque as observações feitas durante o monitoramento foram pontuais, enquanto que o modelo forneceu resultados médios por camada e por segmento. Estão apresentados neste trabalho os dados dos perfis observados no rio Madeira (MON.01) e nos tributários Jaci-Paraná (JAC.01), Teotônio (TEO) e Jatuarana I (JAT I). A segunda abordagem utilizada foi a construção gráfica, sob mesmo padrão, da evolução do perfil de OD observado no ponto de monitoramento e o perfil prognosticado pelo modelo naquela seção. Esta foi realizada somente com dados do tributário Jatuarana I.

Além disso, o processo de enchimento do reservatório não seguiu rigorosamente a programação de enchimento considerada na modelagem, já que foi necessário adequar o programa de enchimento original à evolução de outros processos concomitantes. Por este motivo, para possibilitar uma comparação direta entre as concentrações previstas e as observadas em cada ponto de monitoramento, foi necessário ajustar a cronologia dos dois processos, de modo que as datas notáveis coincidissem.

## RESULTADOS

A seguir é apresentada a comparação entre os dados observados durante o monitoramento limnológico intensivo do período de enchimento e estabilização do reservatório da UHE Santo Antônio e os valores prognosticados por meio da modelagem matemática.

Nas Figuras 2 a 5, a seguir, pode-se observar o comportamento do oxigênio dissolvido (OD), ao longo do tempo, para os valores modelados e observados, nas estações MON.01 (rio Madeira), TEO (Igarapé Teotônio), JAC.01 (rio Jaci-Paraná) e JAT I (Igarapé Jatuarana). Apesar de as concentrações de OD modeladas terem apresentado valores acima das medidas, houve coerência com a tendência observada ao longo do tempo. Além disto, os valores médios observados se mantiveram sempre superiores a 3,0 mg/L, considerado um valor de referência para a manutenção da biota aquática desse ecossistema. Estes valores refletem as maiores concentrações de OD encontradas nas camadas superficiais, onde o volume de água é maior e onde ocorre a maior parte dos processos dinâmicos.

Nas Figuras 2 e 3, abaixo, estão apresentadas as concentrações médias de OD ao longo do tempo nas estações MON.01 (rio Madeira) e TEO (igarapé Teotônio), onde os valores observados de OD mostraram tendência similar aos obtidos pela modelagem prognóstica.

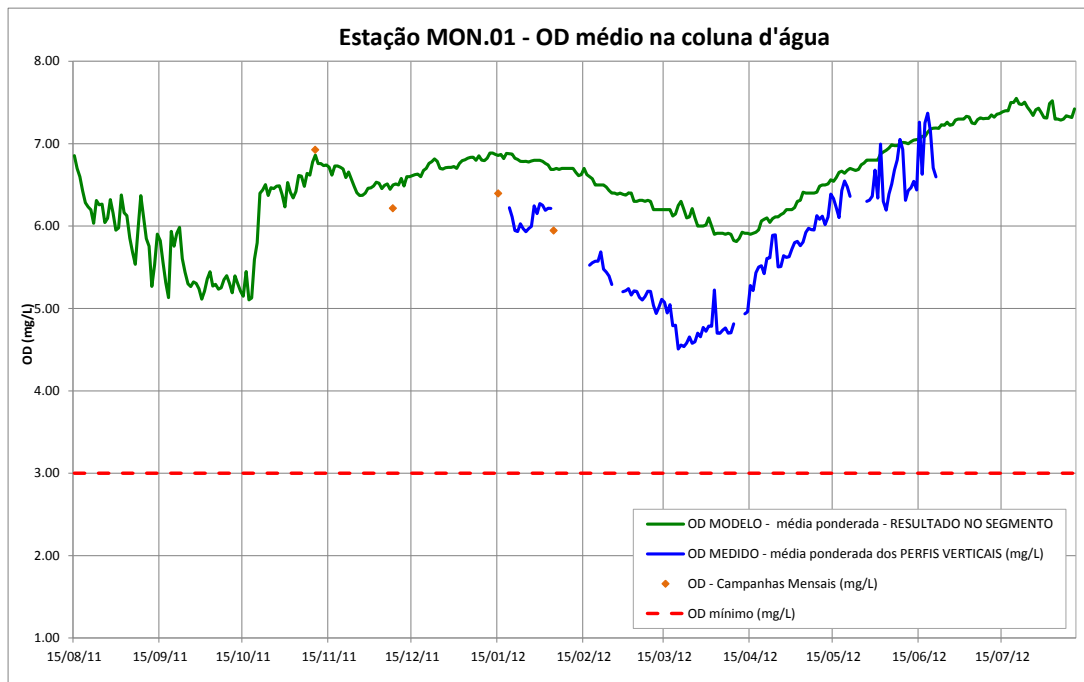


Figura 2 – Valores Médios de OD na estação MON.01 (mg/L) – Modelado x Observado.

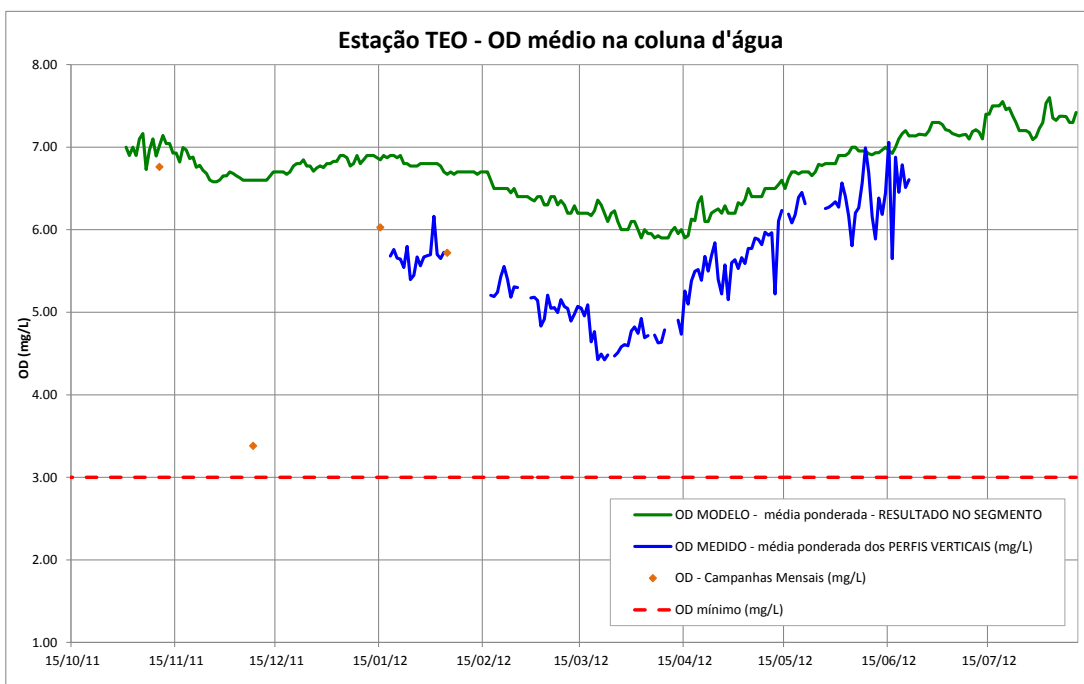


Figura 3 – Valores Médios de OD na estação TEO (mg/L) – Modelado x Observado.

Nas Figuras 4 e 5, observam-se as concentrações de OD ao longo do tempo para as estações JAC.01 (rio Jaci-Paraná) e JAT I (igarapé Jatuarana). As concentrações simuladas apresentam comportamento e tendência similares às observadas; no caso de JAT I, a concentração de OD observada apresentou maiores oscilações ao longo do tempo.

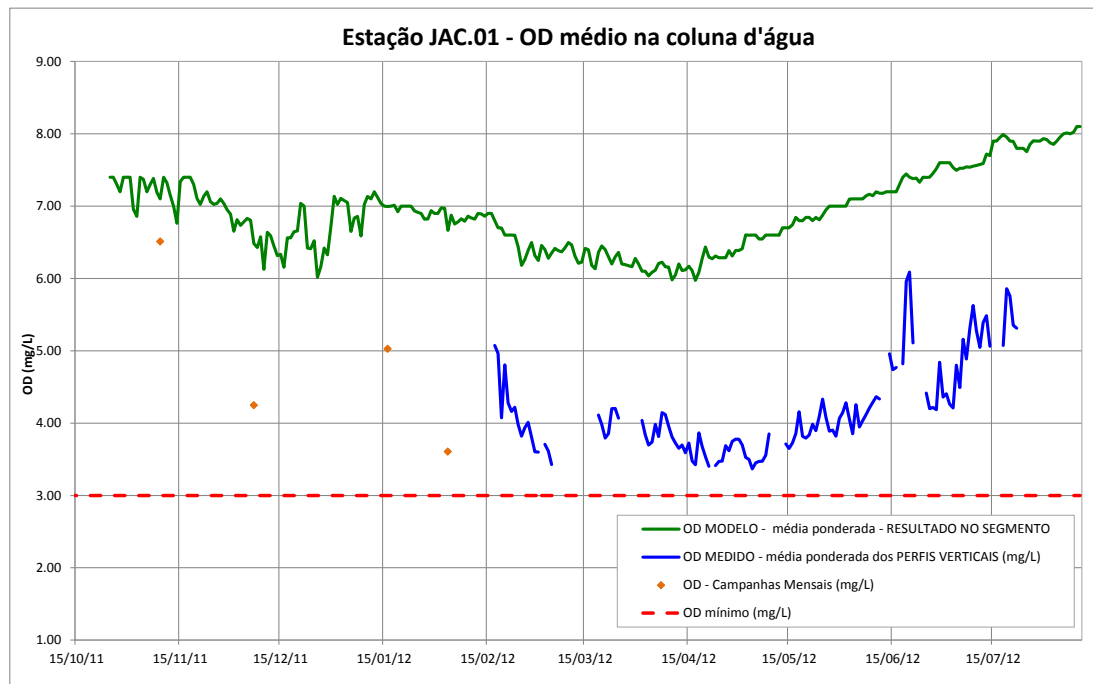


Figura 4 – Valores Médios de OD na estação JAC.01 (mg/L) – Modelado x Observado.

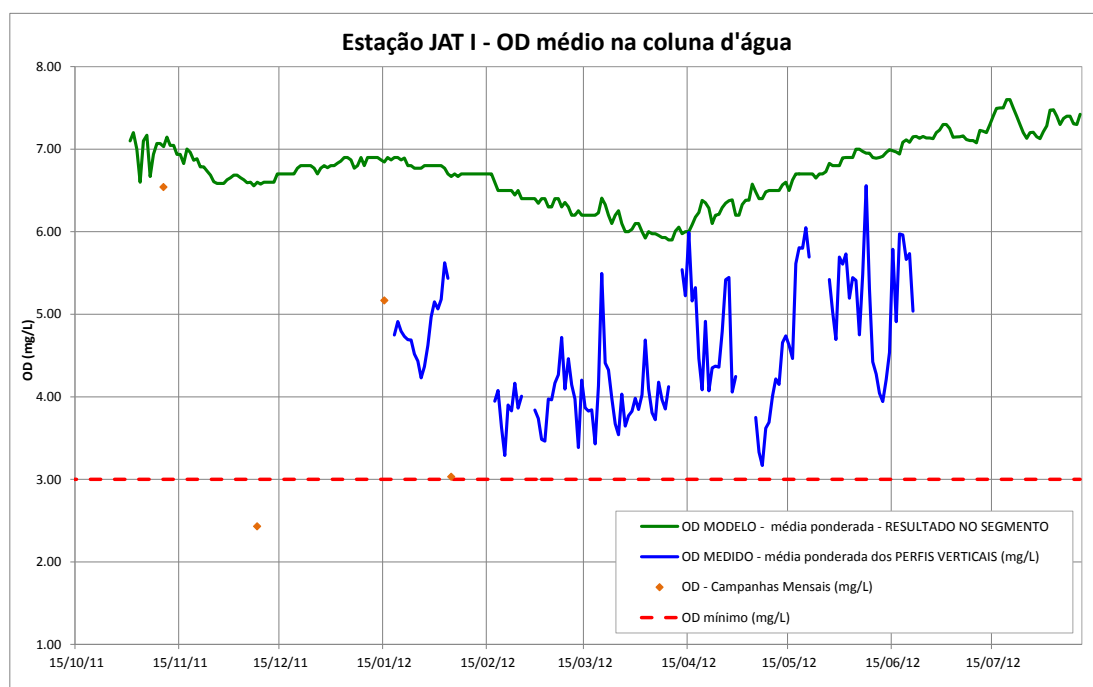


Figura 5 – Valores Médios de OD na estação JAT I (mg/L) – Modelado x Observado.

Em função da maior variância dos dados de OD, para o igarapé Jaturana I foi realizada a segunda abordagem, como apresentado na Figura 6. Durante o primeiro mês após o início do enchimento o modelo previu um período mais crítico, com menores concentrações de OD no fundo, além da possibilidade de a coluna d'água como um todo ficar com baixa oxigenação. Os valores observados confirmaram essa expectativa, porém mostraram uma situação menos otimista. A

concentração de OD no fundo desse tributário atingiu valores abaixo de 3,0 mg/L por um período maior que o previsto. Contudo, não houve comprometimento da vida aquática, uma vez que a situação de baixa oxigenação no fundo foi substituída por maiores concentrações de OD na subsuperfície, permitindo que houvesse sempre camadas oxigenadas capazes de suportar a vida aquática. A situação de pouca oxigenação na subsuperfície permaneceu, e revelou a entrada da água no rio Madeira (mais densa pela alta concentração de material em suspensão e mais oxigenada) por debaixo da água do igarapé Jatuarana, como indicado na Figura 6. Esse padrão foi também prognosticado pelo modelo, sendo mais notável no período de meados de janeiro/2012 a início de abril/2012.

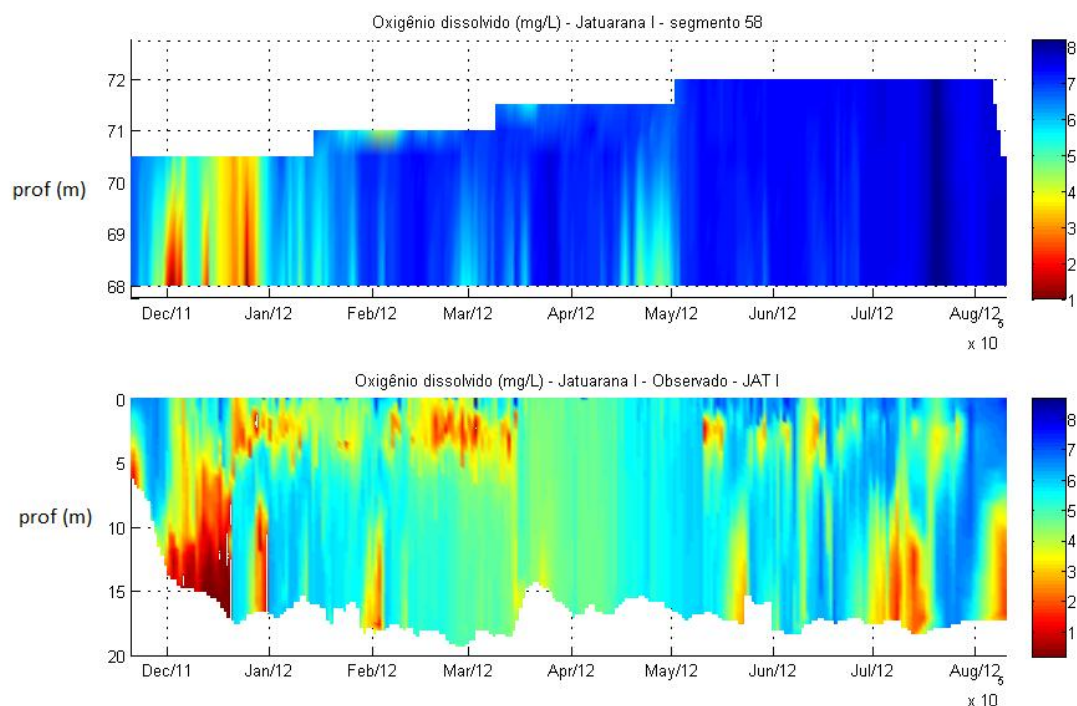


Figura 6 – Perfil vertical dos resultados da modelagem prognóstica de qualidade de água (acima) e do observado em campo (abaixo) no período de novembro/2011 a agosto/2012.

Vale ressaltar que as condições de enchimento simuladas foram diferentes do enchimento efetivo. O enchimento do reservatório até a cota 70,5 m, previsto para ocorrer em 30 de novembro de 2011, só foi concluído em 23 de janeiro de 2012. Além disto, ocorreram mudanças também nas etapas intermediárias do enchimento o que, na prática, interferiram no processo de depuração da biomassa alagada. Outro fator a ser considerado é a diferença entre as vazões simuladas e as observadas. As vazões afluentes simuladas foram superiores às observadas, influenciando sensivelmente na taxa de depuração da biomassa alagada, na diluição de subprodutos deste processo e, conseqüentemente, nas concentrações de OD obtidas pela modelagem prognóstica.

Desta forma, as menores concentrações de OD observadas ao longo do período do enchimento devem-se, em parte, às menores vazões observadas. Ao mesmo tempo, verifica-se que as concentrações de OD nos diversos corpos d'água monitorados (Madeira, Jaci-Paraná, Teotônio e Jatuarana I), que apresentaram valores baixos durante e logo após o enchimento, mostraram recuperação, como pode ser visto nas Figuras 2 a 5. Isto indica a ocorrência de estabilização, sob a

ótica da qualidade da água, conforme prognosticado pela modelagem e também conforme esperado, já que possivelmente o estoque de carbono lábil já foi consumido ou transferido para jusante em sua quase totalidade.

## CONCLUSÕES

A utilização do modelo CE-QUAL-W2 foi adequada no caso do reservatório da UHE Santo Antônio, servindo como ferramenta de gestão, na medida em que previu os períodos e locais mais críticos quanto à qualidade da água. O modelo também foi bem sucedido na previsão de padrões, incluindo o comportamento da água do rio Madeira (mais densa e oxigenada), que adentrou por debaixo da água do igarapé Jatuarana I. Apesar dos ajustes necessários para a comparação entre a concentração de OD prognosticada pelo modelo e aquela observada em campo (quanto a datas e comparações com vazões diferentes), no caso dos pontos de monitoramento MON.01 e TEO, o modelo previu não somente os padrões, como as concentrações de OD de forma bastante aproximada. No caso dos pontos JAC.01 e JAT I, o modelo foi mais otimista do que o observado em campo.

O sucesso da modelagem e da gestão realizada durante o enchimento e estabilização do reservatório da UHE Santo Antônio refletiram no sucesso em qualidade ambiental, posto que não houve ocorrência ambiental ligada a fauna aquática.

## REFERÊNCIAS

- COLE, T.M.; BUCHAK, E.M. (1995). CE-QUAL-W2: A Two-Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 2.0 – User Manual, U.S. Army Corps of Engineers – Waterways Experiment Station.
- COLE, T.M.; WELLS, S.A. (2006) CE-QUAL-W2: A Two-Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3.5 – Instruction Report EL-06-11, U.S. Army Engineering and research Development Center – Vicksburg, MS.
- HICON ENGENHARIA LTDA (2011). *Prognóstico da Qualidade da Água do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio no rio Madeira através de Modelagem Matemática* (SAE 003/2011).
- SIOLI, H.; KLINGE, H. (1964) Solos, tipos de vegetação e água na Amazônia. *Boletim geográfico*, 179: 147-153.
- PCE (2013). *Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico do Rio Madeira e do Reservatório da UHE Santo Antônio*.