

DESENVOLVIMENTO DE MODELOS MATEMÁTICOS COMO FERRAMENTA AO PLANEJAMENTO DE RESERVATÓRIOS ARTIFICIAIS – CASO UHE SANTA BRANCA

André Luiz Cavallari (*), Gabriel Balduino do Nascimento, Jade Varallo Corte, Leonardo Rodrigues Minucci.

* Titanium Engenharia LTDA. E-mail: andre@titanium.eng.br

RESUMO

O crescente desenvolvimento da sociedade moderna busca cada vez mais a produção de bens e a oferta de serviços à população, o que por sua vez demanda matéria prima, insumos e energia. Em relação a esta última, o Brasil possui sua matriz de energia elétrica pautada em 77,1% de participação de hidroeletricidade (BRASIL, 2010). Junto a tal mecanismo de geração, estão inseridos os diferentes impactos socioambientais possíveis da atividade, podendo ser positivos ou negativos. Nestes empreendimentos hidrelétricos, fator de grande interferência se dá pelo alagamento de extensões de terra, responsáveis pela consolidação dos chamados “reservatórios”. Vinculado a estes está a problemática da probabilidade do comprometimento da qualidade da água e eutrofização dos corpos hídricos que formam estes sistemas. Com base nisto, o uso de modelos matemáticos hidrodinâmicos e de qualidade da água para a simulação e previsão de cenários, atuais e futuros, representa uma importante ferramenta para a tomada de decisões e gestão destes projetos. A Usina Hidrelétrica (UHE) Santa Branca, futuro empreendimento hidrelétrico projetado no município de Tibagi – Paraná, serviu como base para a realização deste estudo, simulando-se condições futuras e observando-se singularidades previstas para o reservatório da UHE. A partir de bases de dados primários e secundários, sucedeu-se com a formulação de modelo hidrodinâmico e de qualidade da água para o sistema avaliado, de forma a se observar a concentração de fósforo total ao longo de todo o reservatório e sua avaliação quali-quantitativa perante ao Índice de Estado Trófico – IET. Culmina-se com a obtenção de resultados que apontam para a ocorrência de regiões sensíveis quanto à qualidade da água futura após a consolidação do reservatório. Junto a estes resultados, a utilização de modelos matemáticos aponta como importante estudo para a previsão de condições futuras nestes sistemas, auxiliando para o estudo e tomada de decisões.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem Matemática, Qualidade da Água, Eutrofização, Reservatórios Artificiais, UHE Santa Branca.

INTRODUÇÃO

Barramentos e reservatórios artificiais d’água constituem estruturas instaladas ao longo de córregos, rios ou canais, que objetivam diferentes finalidades como a geração de energia elétrica, a retenção e controle do fluxo hídrico, abastecimento da população, irrigação, dessedentação animal e demais possíveis usos existentes (MARTINS, 2017). Apesar destes projetos visarem ao desenvolvimento e atendimento às demandas da população, também podem impactar negativamente fatores socioambientais que de alguma forma estiverem relacionados (MENDES, 2005).

Dentro do contexto deste estudo, reservatórios de aproveitamentos hidrelétricos são exemplos notórios. Vários são os possíveis impactos gerados, podendo-se citar a alteração da qualidade das águas, impacto sobre a biota e consequente alteração dos usos permissíveis do reservatório como exemplo. Consequentemente, fazem-se necessários diversos estudos e diagnósticos responsáveis pela viabilização da implantação destes projetos, trazendo maior benefício à sociedade e a melhor correlação com o meio em que se inserem (DE SOUZA, 2000).

Há centenas de empreendimentos hidrelétricos constituídos em território nacional. Estes muitas vezes são envoltos de grandes discussões junto à sociedade justamente pelo histórico de implantação destas estruturas no país. Muitos são os projetos já implantados nos quais a falta de estudos e medidas ambientais corretas, e até mesmo a não realização, culminou para a ocorrência de verdadeiras fatalidades ambientais. Exemplo típico disto se dá pela usina de Balbina que, finalizada na década de 80 e com grande área alagada, não efetuou atividades de supressão vegetal em seu reservatório, acarretando em grande liberação de matéria orgânica no rio Uatumã com o aumento da calha do mesmo, sofrendo grande depreciação na qualidade das águas e resultando na ocorrência dos chamados “paliteiros” (troncos das árvores não suprimidas que ficam visíveis quando do rebaixamento do nível d’água ao longo de todo o reservatório). À época não eram existentes legislações ambientais que obrigassem a efetividade de atividades de desmate, entretanto, este empreendimento é ainda lembrado como sendo de grande fragilidade ambiental no território nacional (PORTAL AMAZÔNIA, 2017).

Em decorrência do maior rigor quanto ao licenciamento e pela consciência ambiental hoje existente perante estes projetos, muitos são os estudos necessários para o correto diagnóstico dos aspectos socioambientais associados aos aproveitamentos. Dentre estes, a modelagem matemática computacional, neste caso a modelagem hídrica, surge como importante ferramenta para o embasamento teórico destes trabalhos, servindo como ponto de partida para o planejamento e tomada de decisões acerca de reservatórios e respectivas áreas de influência (LACTEC, 2009). Em empreendimentos expressivos, como é o caso da Usina Hidrelétrica – UHE Santa Branca, tal estudo torna-se ainda mais influente visto o maior tamanho dos reservatórios, maior tempo de residência e maiores volumes d'água nestes sistemas.

A utilização de modelos matemáticos é justificada por constituir um estudo que pode ser retroalimentado e aprimorado ao longo do tempo. Desta forma, seus resultados passam a ser cada vez mais condizentes e fiéis à realidade estudada, fornecendo resultados ainda mais úteis à gestão destes sistemas.

Com localização prevista nos municípios de Tibagi e Carambeí, no estado do Paraná, o projeto de aproveitamento hidrelétrico UHE Santa Branca é foco deste estudo, por meio do qual se faz uso de modelo computacional hidrodinâmico e de qualidade da água para a avaliação de tendências futuras do reservatório do empreendimento em questão.

Junto aos mecanismos utilizados de simulação, faz-se também necessária a análise da qualidade da água futura nestes cenários. Segundo LAMPARELLI (2004), a existência de séries de dados permite a avaliação da qualidade ambiental destes sistemas, sendo possível a correlação com outros fenômenos climáticos, indicando a necessidade de ações de controle, investimentos e medidas que propiciem a proteção e manutenção destes. Para isso, muitos são os mecanismos de avaliação da qualidade da água em corpos hídricos, podendo ainda serem aplicados de diferentes formas para cada situação em específico.

O Índice de Estado Trófico – IET, baseado na concentração de fósforo total, consiste em uma metodologia que representa uma espécie de registro quali-quantitativo das atividades humanas (fontes de fósforo) em corpos hídricos (SILVEIRA et al., 2011). Diferentemente aplicada, neste estudo busca-se a sua utilização de forma refinada em toda a área do sistema, obtendo-se resultados que sejam pontualmente específicos ao longo do reservatório da UHE.

Desta maneira, o trabalho procura a observação do sistema quanto à ocorrência de processo de eutrofização em suas águas. Tal fenômeno é característico por proporcionar ao corpo hídrico a coloração esverdeada pela presença de algas e cianobactérias, grande turbidez, diminuição da concentração de oxigênio dissolvido e maior dificuldade à entrada de raios solares no corpo hídrico, impactando diretamente a fauna e biota aquática (SPERLING, 1996).

OBJETIVO

Objetiva-se neste trabalho a avaliação de modelos matemáticos como alternativa viável ao estudo da qualidade da água em reservatórios artificiais, apresentando resultados que sirvam como bons indicativos ao aprofundamento de estudos em regiões propícias à degradação da qualidade da água e a processo de eutrofização. Desta forma, almeja-se indicar o uso deste artifício como ferramenta à gestão destes aproveitamentos hidrelétricos.

METODOLOGIA

O empreendimento em questão, UHE Santa Branca, trata-se de aproveitamento hidrelétrico o qual atualmente encontra-se em fase de licenciamento ambiental frente ao Instituto Ambiental do Paraná – IAP e já possuidor de Licença Ambiental Prévia – LP. Com Estudo de Impacto Ambiental – EIA e Relatório de Impacto Ambiental – RIMA já realizados e aprovados, o empreendimento, dentre todos os já instalados ou previstos para o rio Tibagi, é aquele localizado mais a montante do curso hídrico em questão, mais precisamente com eixo do barramento nas coordenadas UTM 560.635,11 m E e 7.270.303,78 m S, no município de Tibagi (HIDRELÉTRICA SANTA BRANCA, 2015).

A UHE se dá por um aproveitamento com projeto aprovado de 62 MW de potência instalada e 14 km² de reservatório, representando um investimento de R\$ 400.000.000,00 (HIDRELÉTRICA SANTA BRANCA, 2015). A sua macrolocalização é apresentada pela Figura 1.

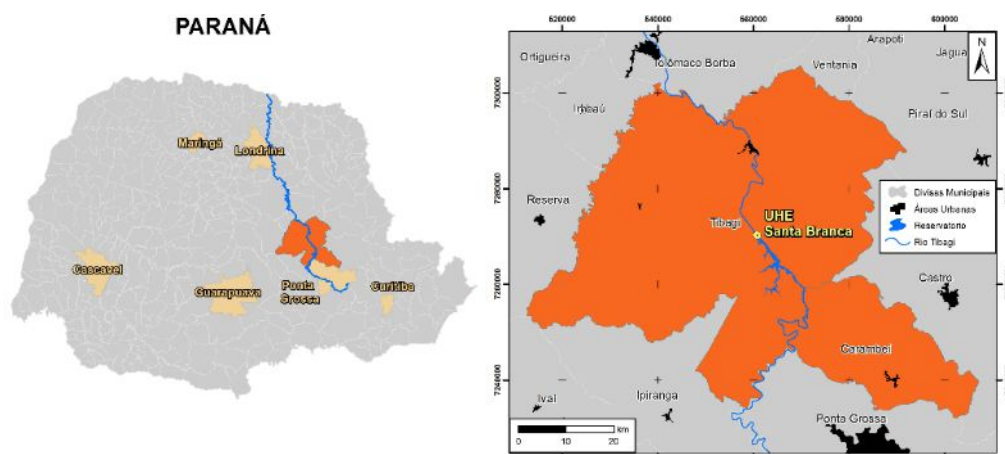


Figura 1: Macrolocalização UHE Santa Branca. Fonte: Hidrelétrica Santa Branca, 2015.

Tendo arranjo típico de pé de barragem, o empreendimento constitui aproveitamento hidrelétrico a fio d'água, o qual é característico pelo turbinamento de volume d'água igual ao que adentra ao sistema, sem deplecionamento significativo do nível d'água. Dentre os volumes que carregam o reservatório, encontram-se na porção mais a montante (extremo sudeste) as afluentes dos dois principais rios, Tibagi e Pitanguí, representando 95% do volume total afluente ao reservatório (HIDRELÉTRICA SANTA BRANCA, 2015).

Parte integrante do diagnóstico ambiental da região de instalação do empreendimento, a definição das áreas de influência constitui importante etapa para que sejam baseados estudos, definidas as abordagens, medidas e planos compensatórios/mitigatórios necessários junto à instalação e operação do projeto. Diante disso, é estabelecido pelo EIA da UHE que cerca de 75% de sua Área de Influência Direta – AID é composta por atividade de agropecuária anual, pastagens/campos e áreas de reflorestamento, pertencentes às 32 propriedades lindeiras existentes às margens do futuro reservatório, indicando assim a elevada atividade antrópica na região de interesse, a qual inclusive faz o uso dos corpos hídricos para o exercício de suas atividades.

Diante de tal realidade e sabendo dos riscos existentes quanto à deterioração da qualidade das águas após a implantação de barramentos em corpos hídricos, buscou-se na utilização de modelos matemáticos a alternativa para a simulação de condições futuras da qualidade da água do reservatório a partir da concentração de fósforo total, e a obtenção de indicativos de áreas sensíveis para processos de eutrofização dentro das delimitações do sistema. Salienta-se que em decorrência do aproveitamento hidrelétrico em questão encontrar-se em fase de licenciamento, o trabalho apresentado retrata situações ainda inexistentes, porém baseado em dados atuais que, também, representam características de cenários futuros.

Para o desenvolvimento do trabalho, optou-se pela utilização de software com interface própria para a elaboração dos modelos necessários. O software SisBaHiA® – Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental, foi escolhido para este estudo, visto que o sistema tem sido adotado em dezenas de estudos envolvendo modelagem de corpos de água naturais e artificiais. Este caracteriza-se por um sistema profissional de modelos computacionais registrado pela Fundação Coppetec, órgão gestor de convênios e contratos de pesquisa do COPPE/UFRJ (Instituto Aberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (ROSMAN, 2016).

Visando o melhor desempenho possível, confeccionou-se grande base de dados responsável por subsidiar a modelagem e proporcionar resultados mais próximos à realidade existente. Inicialmente, compuseram a base levantamentos primários de dados atuais sobre a qualidade d'água do rio Tibagi. Estes foram realizados durante a fase de estudos para a elaboração do EIA/RIMA da UHE, a partir de duas diferentes campanhas onde, em cada uma, foram utilizados 5 pontos amostrais para caracterização do corpo hídrico ao longo da região de interesse do futuro reservatório.

Além destas, dados secundários também foram utilizados para se proporcionar uma maior proximidade à realidade. Para isso, foram utilizados registros de umidade relativa do ar, temperatura do ar e radiação para a região, os quais foram obtidos a partir da base de dados da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado do Paraná e Instituto Agrônomo do Paraná.

Buscando condições normais de operação, o sistema foi avaliado após o enchimento do reservatório, em pleno funcionamento, optando-se pela elaboração de cenário de operação média, ou seja, não representando ano hidrológico

de cheia ou de estiagem. Desta forma, além do simples funcionamento do sistema, buscou-se a sua avaliação temporal, simulando-se o equivalente a um ano hidrológico, 365 dias, com variações mensais das vazões que entram ao sistema.

Para a composição do referido ano hidrológico, foram selecionadas estações fluviométricas da região que apresentassem comportamento uniforme e área de drenagem compatível ao empreendimento, além de um período de dados que propiciasse a geração de uma série extensa. Consequentemente, a partir de 5 diferentes estações fluviométricas a série histórica de vazões foi composta, resultando em médias mensais do ano de 1931 a 2015. Visando maior representatividade dos recentes comportamentos hidrológicos na região, levando em consideração alteração do uso do solo na região ao longo dos anos e o avanço das tecnologias de medição, para a definição do ano hidrológico médio foram consideradas médias mensais dos últimos 20 anos de que se tem registro (1995–2015).

Apesar deste cenário ser caracterizado como ano hidrológico médio, cabe ressaltar que ele caracteriza as médias mensais para cada mês dentro do intervalo avaliado, ou seja, não é esperado comportamento necessariamente linear, com baixa flutuação. Isto se comprova uma vez que a menor média mensal obtida, relativa ao mês de abril (153,9 m³/s), é aproximadamente 60% menor do que a maior média mensal da série, mês de outubro (250,7 m³/s). As respectivas vazões de entrada são apresentadas a seguir pela Figura 2, parte também integrante da base de dados necessária para a modelagem.

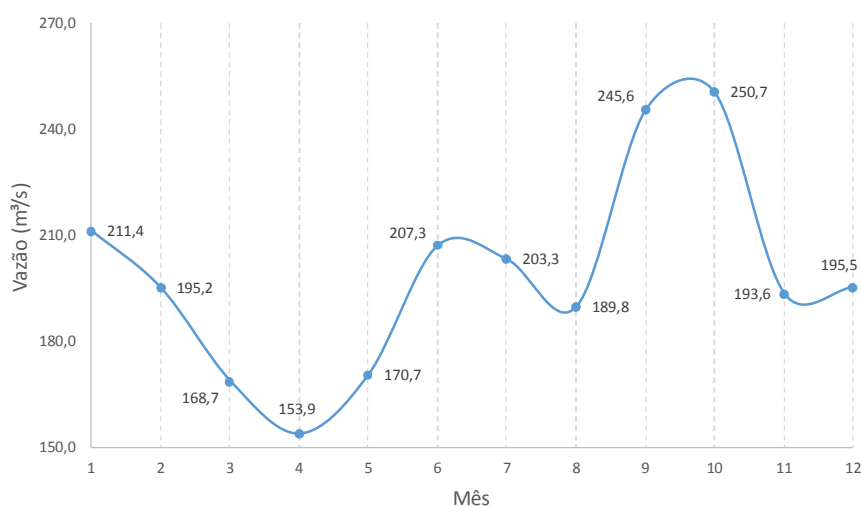


Figura 2: Vazões Médias Mensais - Ano Hidrológico (1995 - 2015). Fonte: O Autor, 2017.

Definida a base de dados e o período modelado, iniciou-se a constituição do modelo elaborando-se inicialmente a malha de elementos finitos capaz de representar a superfície de estudo. Desenvolvida a partir do software ArgusOne, a malha utilizada para a retratação do reservatório da UHE é formada por 575 elementos quadráticos contendo ao todo 2896 pontos (nós) (ARGUS ONE, 20--?). Esta é apresentada pela Figura 3 a seguir.

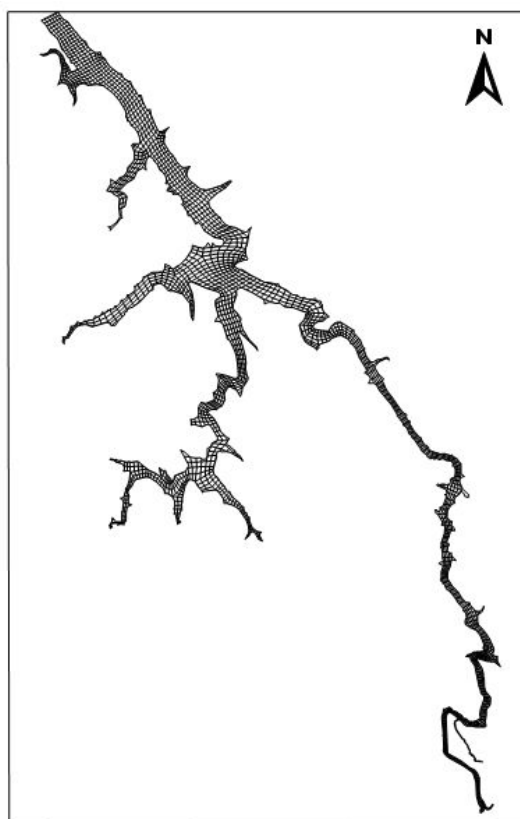


Figura 3: Malha Hidrodinâmica - UHE Santa Branca. Fonte: O Autor, 2017.

Sequencialmente, o trabalho foi realizado em duas etapas, sendo inicialmente necessária a modelagem hidrodinâmica do reservatório. Esta fase consiste na simulação dos escoamentos hidrodinâmicos dentro da região de interesse, ou seja, da retratação dos campos de velocidade e do nível d'água ao longo do período simulado. Este modelo, a partir das diferentes vazões que adentram ao sistema e dos volumes liberados pelo eixo do barramento, tem o intuito de simular, ao longo de todo o ano estipulado, o comportamento do corpo hídrico após a consolidação do reservatório.

Desta forma, este então serviu de base hidrodinâmica para o desenvolvimento do modelo de qualidade da água subsequente, no qual, de acordo com o interesse deste estudo, modelou-se a concentração e a dispersão da substância fósforo total ao longo de todo o sistema e de todo ano hidrológico, sendo simulada assim o resultado de processos advectivos e difusivos da substância.

Além da base hidrodinâmica, também influenciam os resultados deste modelo todas as demais informações supracitadas advindas de bases primárias e secundárias. Como mencionado anteriormente, em detrimento da atual impossibilidade de calibração, principalmente de qualidade da água, os resultados obtidos devem ser considerados como bons indicadores de tendências futuras, sendo o grau de representatividade condizente com a base de dados composta neste primeiro momento.

Visando a análise e classificação do sistema de forma quali-quantitativa, optou-se pela utilização do indicador de qualidade de Índice de Estado Trófico – IET, proposto pela Agência Nacional de Águas – ANA e estabelecido por LAMPARELLI (2004). Este indicador realiza, a partir da concentração de fósforo total, cálculo para a determinação de regiões propícias para a ocorrência do fenômeno de eutrofização. É então apresentado pela Equação (1) o método utilizados para a obtenção deste índice para o modelo realizado.

$$IET = 10 \cdot \left(6 - (1,77 - 0,42 \cdot \left(\frac{\ln(P)}{\ln(2)} \right)) \right) \quad (\text{LAMPARELLI, 2004}) \quad \text{Equação (1)}$$

A partir da concentração de fósforo a equação resulta em um índice com a finalidade da classificação do corpo hídrico em 6 diferentes faixas quanto ao grau de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por fósforo total, caracterizando o sistema de forma a estar mais ou menos propício à ocorrência do fenômeno de eutrofização. As diferentes faixas de classificação são apresentadas pela Figura 4.

Figura 4: Índice de Estado Trófico – IET. Fonte: O Autor, 2017.

ULTRAOLOGOTRÓFICO	OLIGOTRÓFICO	MESOTRÓFICO	EUTRÓFICO	SUPEREUTRÓFICO	HIPEREUTRÓFICO
$IET \leq 47$	$47 < IET \leq 52$	$52 < IET \leq 59$	$59 < IET \leq 63$	$63 < IET \leq 67$	$IET > 67$

Uma vez da realização das modelagens, hidrodinâmica e de qualidade da água para fósforo, pôde-se assim calcular o IET característico para o período simulado ao longo de todo o reservatório. Em decorrência da grande quantidade de resultados gerados para concentração de fósforo total ao longo da simulação pelo *software*, dividiu-se o ano hidrológico em trimestres selecionando-se o cenário de concentrações mais representativas em cada um destes períodos. Foram então atribuídas estas concentrações para cada um dos 2896 pontos da malha, calculando-se após, por meio da Equação (1), o IET característico para cada ponto.

RESULTADOS

Os resultados obtidos a partir da metodologia descrita são então apresentados pela Figura 5 a seguir. É exposta a classificação obtidas para IET em cada um dos pontos ao longo de todo reservatório da UHE.

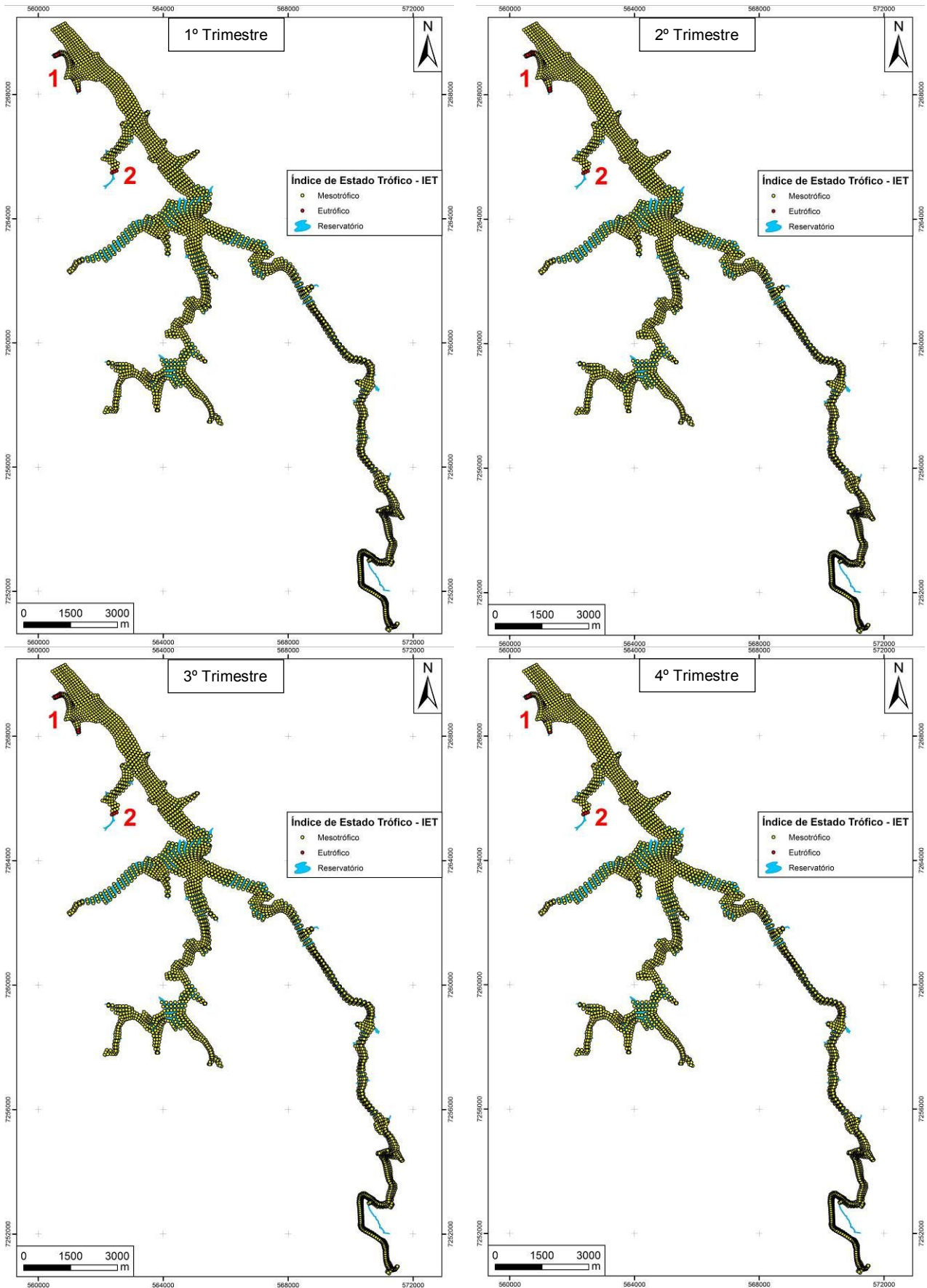


Figura 5: IET – Reservatório UHE Santa Branca. Fonte: O Autor, 2017.

Observa-se que, para o sistema, foram obtidos apenas resultados capazes da caracterização do reservatório como ambiente “Mesotrófico” ou “Eutrófico”, não sendo observadas piores ou melhores condições quanto à tendência à trofia.

De forma geral, aqueles indicados como mesotróficos constituem áreas de moderado enriquecimento por nutrientes, de moderada possibilidade de crescimento planctônico e de certa acumulação de sedimentos na maior parte da calha, podendo em geral, suportar a permanência de espécies de peixes de águas mais quentes (BRIGANTE & ESPÍNDOLA, 2003).

Ambientes ditos eutróficos são aqueles de elevado enriquecimento de nutrientes, com certo crescimento planctônico e maior área coberta com plantas aquáticas. A acumulação de sedimentos na calha é acentuada, sendo baixos os níveis de oxigênio dissolvido nesta região, possibilitando apenas a permanência de espécies de peixes de águas quentes (BRIGANTE & ESPÍNDOLA, 2003).

Observa-se que nos 4 instantes os resultados obtidos foram bastante aproximados quali-quantitativamente. Nestes, praticamente na totalidade do reservatório da UHE, há o indicativo de sua classificação como ambiente “Mesotrófico”, sendo poucos os pontos obtidos nos quais há a caracterização de ambiente “Eutrófico”. As regiões que indicam a ocorrência de ambiente “Eutrófico” são indicadas na Figura 5 como Pontos 1 e 2, localizados em corpos hídricos laterais ao reservatório. Estes afluentes, a partir das simulações hidrodinâmicas realizadas, caracterizaram-se como ambientes mais lênticos e com maior tempo de residência em comparação ao curso principal do rio Tibagi, o que acarreta na maior estagnação da massa d’água, contribuindo para a menor dissipação das concentrações de fósforo e consequente degradação da qualidade da água frente ao IET.

Estes pontos (Eutróficos) são localizados nas mesmas regiões para os quatro instantes avaliados, porém com pequeno aumento na ocorrência de pontos no segundo trimestre e posterior decréscimo no terceiro e quarto trimestre. O indicativo de ambientes eutróficos nestas localidades apontam para a possibilidade da ocorrência de tal fenômeno, entretanto, este também é dependente de demais fatores como a presença/falta de nitrogênio, DBO, oxigênio dissolvido, os quais podem suavizar ou agravar estes cenários.

Consequentemente, a partir destes resultados, pôde-se conhecer em partes, o comportamento futuro do reservatório a ser formado, a sua hidrodinâmica e relações de difusão e advecção de concentrações desta (fósforo) e outras substâncias presentes na massa d’água. Diante disso, culmina-se para o aprofundamento de análises de qualidade da água, medidas de controle e ações preventivas que podem ser desenvolvidas para o sistema estudado, inclusive para as áreas em específico apontadas.

CONCLUSÕES

Além do resultado quali-quantitativo quanto à qualidade da água no futuro reservatório, o que cabe ser enfatizado é que apesar das conhecidas limitações na apresentação com exatidão, por exemplo, das concentrações para fósforo total, confirma-se a possibilidade da utilização de modelos matemáticos, em especial o software SisBaHiA®, como bom ponto de partida para a análise prévia de situações inexistentes, inclusive em reservatórios artificiais d’água.

Fato interessante é o de que o modelo pode se tornar tão realista quanto for a necessidade de aprofundamento dos estudos, ou seja, muitas são as informações vindas de bases de dados secundárias que podem ser substituídas por avaliações primárias, ou até mesmo informações primárias que podem ser aprimoradas e melhor detalhadas, gerando assim resultados ainda mais condizentes.

Estes modelos acabam por funcionar como peças estratégicas e de planejamento destes sistemas. A partir destes resultados, maiores estudos, por exemplo, podem ser realizados nos Pontos 1 e 2 a fim de que seja checada a real probabilidade da ocorrência de eutrofização nos locais. Com a retroalimentação do modelo, o mesmo é aprimorado de forma a calibrar-se à realidade.

Deve-se lembrar que além de cumprirem suas funções básicas na previsão da qualidade da água, estes também servem para a gestão e manejo do entorno destes reservatórios. Estes sistemas, comumente circundados de diferentes usos antrópicos, devem considerar todos os possíveis impactos que a alteração da qualidade das águas pode causar nestas atividades e até mesmo naquelas presentes a montante e jusante.

A utilização do IET mostrou-se uma metodologia respaldada tecnicamente, com índice inteligível, de simples compreensão e execução, sendo facilmente adotada neste estudo. A forma pelo qual foi aplicado ponto a ponto ao longo de todo o sistema constitui um diferencial capaz de refinar a avaliação de reservatórios em geral conforme a necessidade de cada estudo. Desta maneira, pode-se, como visto neste trabalho, fazer análise específica local de forma que regiões próximas, de melhor qualidade d'água por exemplo, não interfiram nos resultados. Acredita-se que se não aplicada desta forma, o método dificilmente seria capaz de representar a sutil diferença quanto ao grau de trofia observada nos Pontos 1 e 2. Desta forma, o estudo também contribui apresentando uma interessante alternativa para o emprego do índice.

Cabe ressaltar que tal trabalho, mesmo que limitado, representa um importante passo para a inovação em estudos ambientais em empreendimentos hidrelétricos. Muitos foram os projetos já realizados que, em decorrência da falta de diagnósticos como este, acabaram por ter que enfrentar realidades diferentes das previstas anteriormente à consolidação do empreendimento. Consequentemente, a UHE Santa Branca segue uma linha de atuação contemporânea na qual o empreendimento se preocupa com a realidade em que está inserido, tendo como concepção a ideia de que tais projetos devem somar esforços aos atores impactados para que os resultados sejam maximizados.

Por fim, em específico para o caso da UHE Santa Branca, coloca-se como indicativo de estudo futuro o aprofundamento e maior levantamento de dados primários para a região do reservatório e entorno, com maior especificidade nos corpos hídricos afluentes dos Pontos 1 e 2. Desta forma, uma maior base de dados primários servirá de subsídio para o desenvolvimento de modelos ainda mais precisos e confiáveis, inclusive com a modelagem de outras substâncias, como por exemplo, nitrogênio, DBO e oxigênio dissolvido, auxiliando para as fases subsequentes do processo de licenciamento ambiental do empreendimento hidrelétrico e para a elaboração de medidas de mitigação ou remediação que se façam necessárias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Argus One. **Argus Holdings**, Ltd. 20--?.
2. Brasil. **Matriz Energética**, 2010. Disponível em < <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2010/11/matriz-energetica>>. Acesso em Julho de 2017.
3. Brigante, J.; Espindola, E. L. G. **Limnologia fluvial: um estudo no rio Mogi-Guaçu**. São Carlos, SP. 2003.
4. De Souza, W. L. **Impacto Ambiental de Hidrelétricas: Uma Análise Comparativa de Duas Abordagens**. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000.
5. Hidrelétrica Santa Branca - Hidrelétrica Santa Branca S.A. **Estudo de Impacto Ambiental: UHE Santa Branca**. Curitiba, Instituto Ambiental do Paraná, 2015. Disponível em <<http://www.iap.pr.gov.br/pagina-646.html>>. Acesso em Julho de 2017.
6. Instituto Agrônomo Do Paraná. **Iapar.br**. Disponível em < <http://www.iapar.br/pagina-890.html>>. Acesso em Maio de 2017.
7. LACTEC – Instituto de Tecnologia Para o Desenvolvimento. **Modelagem Matemática da Qualidade da Água Para UHE Mauá**, 2009. Disponível em <http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/EIA_RIMA/MAUA_MODELAGEM_MATEMATICA_AGUA.pdf>. Acesso em Maio de 2017.
8. Lamparelli, M. C. **Graus de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2004.
9. Martins, J. R. S. **Barragens e estruturas hidráulicas**. São Paulo, Universidade Federal de São Paulo, Escola Politécnica, 2017. Disponível em <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2803799/mod_resource/content/0/Introdução%20e%20Conceitos.pdf>. Acesso em Julho de 2017.
10. Mendes, N. A. S. **As usinas hidrelétricas e seus impactos: os aspectos socioambientais e econômicos do Reassentamento Rural de Rosana - Euclides da Cunha Paulista**. Dissertação de Pós-graduação, Universidade Estadual Paulista, 2005.
11. Portal Amazônia. **Pesquisa mostra alta mortalidade de árvores depois da barragem de Balbina, no Amazonas**, 2017. Disponível em <http://portalamazonia.com/noticias/pesquisa-mostra-alta-mortalidade-de-arvores-depois-da-barragem-de-balbina-no-amazonas>. Acesso em Julho de 2017.
12. Rosman, P. C. C. **Referência Técnica do SisBaHiA®**. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016. Disponível em <http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br/SisBAHIA_RefTec_V9a.pdf>. Acesso em Junho de 2017.
13. Secretaria Da Agricultura E Do Abastecimento. **Agricultura.pr.gov.br**. Disponível em <<http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/pluvio.xls>>. Acesso em Maio 2017.

14. Silveira, C.; Da Rosa, L.; Mees, J. B. R.; Bortoli, M. M. **Determinação do Índice de Estado Trófico de Um Manancial Receptor de Efluente de Estação de Tratamento de Esgoto.** II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2011, Londrina – Paraná.
15. Von Sperling, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Belo Horizonte, MG, UFMG. v.1. 1996.