

1 Introdução

1.1. Apresentação

De todos os recursos naturais, a água é sem dúvida o mais essencial e precioso. A vida começou na água e a vida é alimentada com água. Há organismos que podem sobreviver sem oxigênio, porém nenhum organismo pode sobreviver por muito tempo sem água (ABBASI; ABBASI, 2012).

Para a humanidade a água é um recurso natural imprescindível, entre outras razões, por ser um elemento cujo consumo diário é vital para a sobrevivência de todos os indivíduos. Além do consumo direto, a água é usada em quase todas as atividades desenvolvidas pelo homem, como irrigação, produção de alimentos, processos químicos industriais, geração de energia, navegação, harmonia paisagística entre outros (TUNDISI, 2003).

Do mesmo modo, a água é também uma das principais disseminadoras de agentes patogênicos. Por tal motivo, a legislação determina que para cada uso da água sejam exigidos limites máximos de impurezas e um tratamento de acordo com seu uso (SAAD; JR, 2008). Assim, por exemplo, a resolução CONAMA 357/2005 (RESOLU, 2005) dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Sendo assim, para uma eficiente gestão e controle dos recursos hídricos é indispensável um contínuo monitoramento da qualidade das águas capaz de fornecer as informações necessárias para um adequado manejo dos ambientes aquáticos (PESSOA, 2010).

Um modo de estimar a qualidade da água para seu futuro monitoramento é listar e analisar as concentrações de tudo o que ela têm. Tal lista poderia ser tão longa quanto o número de constituintes analisados, podendo ser de vinte e poucos componentes comuns a centenas! Além disso, a lista vai fazer sentido só para especialistas em qualidade da água que sejam bem treinados (ABBASI; ABBASI, 2012).

Desta forma, com a finalidade de retratar do melhor jeito o estado das águas, um índice de qualidade poderia ser uma ótima solução para viabilizar essa análise. Um índice que represente o maior número de parâmetros de qualidade em um só valor fácil de entender. Na literatura existem vários índices de qualidade para ambientes aquáticos, alguns dos mais significativos estão descritos a seguir.

Horton, em 1965, foi quem pela primeira vez formulou um índice de qualidade da água que utilizou uma escala numérica para representar graduações nos níveis de qualidade. Para o cálculo do índice, Horton selecionou os dez parâmetros de qualidade da água mais comumente medidos, incluindo: oxigênio dissolvido, pH, coliformes, condutância, alcalinidade e cloreto, com valores do índice variando entre 1 e 4 (HORTON, 1965).

BROWN et al. (1970) desenvolveram um índice de qualidade da água semelhante em estrutura ao índice de Horton, mas com muito mais rigor na seleção de parâmetros, no desenvolvimento de uma escala comum, e na atribuição de pesos. A concepção do índice foi apoiada pela National Sanitation Foundation (NSF), por este motivo, o índice de Brown é também conhecido como NSF-IQA (ABBASI; ABBASI, 2012).

A partir do NSF-IQA, no Brasil a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB adaptou e desenvolveu seu próprio Índice de Qualidade das Águas – IQA. Índice este que incorpora nove variáveis consideradas relevantes para a avaliação, e tem como determinante principal na formulação a sua utilização no abastecimento público (CETESB, 2009a). Este índice tem sido amplamente utilizado por diversas instituições governamentais de gestão e controle ambiental no Brasil (PESSOA, 2010).

Uma vez que a maior parte dos índices é formulada para águas correntes, eles têm pouca utilidade para lagos e reservatórios. Além disso, a tradição de uso dos índices de qualidade da água para ambientes lóticos é diferente da tradição de uso dos indicadores para ambientes lênticos. Lagos e reservatórios são usualmente classificados com base em indicadores de estado trófico (estado relacionado ao crescimento excessivo de algas ou ao aumento da infestação de macrófitas aquáticas por motivo de enriquecimento por nutrientes) e em análises de composição química (BUSCH; SLY, 1992).

A ideia de classificar lagos com base em indicadores de estado trófico pode ser atribuída a August Thienemann (1882-1960). Thienemann classificou os lagos

conforme as suas condições tróficas em: oligotróficos (baixa trofia), eutróficos (alta trofia), e distróficos (lagos de caráter pantanoso, com água altamente colorida devido à presença de matéria orgânica em decomposição). Os grupos foram diferenciados inicialmente com base na composição dos sedimentos do fundo e na fauna bêntica do lugar (JØRGENSEN et al., 2005).

Em vários estudos o índice de estado trófico – IET de CARLSON (1977) tem sido usado como base comparação, denotando a sua importância. O índice de estado trófico de Carlson está baseado em valores relativos de três variáveis: fósforo total, clorofila-a e transparência da água. Os valores relativos são baseados em equações de regressão derivadas de dados locais e, por tanto, sujeitas a diferenças locais nas relações (JØRGENSEN et al., 2005). Dentre suas vantagens estão incluídas a simplicidade e a objetividade dos resultados, possuindo como principal limitação o fato de ter sido desenvolvido com base em dados de reservatórios de regiões de clima temperado, o que pode restringir sua aplicação a regiões de clima tropical (NAVAL; FERREIRA; ALMEIDA, [S.d.]).

Porém, um índice de estado trófico não tem a mesma representatividade de um índice de qualidade, visto que o termo qualidade sugere uma avaliação subjetiva, é importante ressaltar essa distinção de conceitos. Excelente ou pobre, a referência de qualidade da água depende do seu uso e das atitudes locais das pessoas. A definição de estado trófico e seu índice correspondente deveriam permanecer neutros a tais julgamentos subjetivos, mantendo-se numa estrutura dentro da qual podem ser feitas várias avaliações da qualidade da água (CARLSON, 1977).

Dessa forma, no presente trabalho, criou-se um modelo de avaliação da qualidade da água e da qualidade biótica para um reservatório tropical oligo-mesotrófico (Reservatório de Lajes) - MIAQR-PALADINES capaz de representar em uma escala numérica as gradações nos níveis de qualidade, além de levar em consideração a subjetividade implícita no conceito de qualidade.

A subjetividade da avaliação em discussão motivou o emprego da Lógica Fuzzy, metodologia capaz de representar, de forma mais eficiente e clara, os limites dos intervalos de variação dos parâmetros de qualidade para um conjunto de categorias subjetivas, quando esses limites não são bem definidos ou são imprecisos (PESSOA, 2010).

Entre as várias razões para aplicar a lógica fuzzy na elaboração de um índice de qualidade para ambientes aquáticos, provavelmente as mais importantes são:

- a facilidade de expandir e combinar dados quantitativos com informações qualitativas para expressar o estado ecológico de uma fonte de água, e
- a necessidade de combinar diferentes indicadores de qualidade.

Modelos fuzzy têm sido utilizados satisfatoriamente na análise de qualidade de águas superficiais: (SASIKUMAR; MUJUMDAR, 1998), (SOUZA; CHAGAS, 2005), (ICAGA, 2007), (OCAMPO-DUQUE et al., 2006), (ABDULLAH et al., 2008), (BAI, 2009), (LERMONTOV et al., 2009), (PESSOA, 2010), (GONZÁLEZ; CARVAJAL; TORO, 2012) e na avaliação da qualidade ambiental de lagos e reservatórios, avaliação diretamente relacionada ao estado trófico das águas: (LU; LO; HU, 1999), (LU; LO, 2002), (LIOU; LO, 2005), (TAHERIYOUN; KARAMOUZ; BAGHVAND, 2010), (SOUSA-FILHO et al., 2012).

Na forma de um índice, OCAMPO-DUQUE et al. (2006) propuseram uma metodologia baseada em sistemas de inferência fuzzy (SIF) para avaliar a qualidade de água. LERMONTOV (2009) formulou um novo índice de qualidade das águas com base na lógica fuzzy chamado de Novo Índice Nebuloso de Qualidade de Águas – NINQA. PESSOA (2010) propôs um índice de qualidade da água para o ambiente lótico chamado de IQAFAL, baseado em Lógica Fuzzy e desenvolvido a partir da incorporação do conhecimento de especialistas na área de qualidade de água. LU; LO; HU (1999) desenvolveram uma metodologia alternativa ao índice de eutrofização de reservatórios utilizando avaliação fuzzy sintética. A metodologia é comparada com o índice de estado trófico de CARLSON (1977). Os trabalhos de (OCAMPO-DUQUE et al., 2006; LERMONTOV, 2009; PESSOA, 2010; LU; LO; HU, 1999) serão apresentados com mais detalhes na base teórica do presente trabalho.

Na prática, é quase inútil utilizar um sistema de classificação fora da localidade geográfica e das características do corpo de água para as quais o sistema foi originalmente elaborado (Jørgensen et al., 2005). É assim que, na concepção do modelo e na programação da ferramenta levou-se em consideração estudos limnológicos próprios do Reservatório de Lajes. O modelo baseia-se nas características limnológicas descritas em GUARINO et al. (2005), e nos resultados de SOARES et al. (2008) e BRANCO et al. (2009) referentes ao efeito do tempo de retenção e ao impacto do clima sobre a estrutura de coluna d'água vertical do Reservatório.

1.2. Objetivo Geral

O objetivo principal do presente trabalho é definir e desenvolver um modelo de avaliação da qualidade da água para consumo humano e da qualidade biótica, para um reservatório tropical oligo-mesotrófico (Reservatório de Lajes), criando uma Ferramenta Computacional baseada em Sistemas de Inferência Fuzzy.

1.3. Objetivos Específicos

- Criar um sistema de avaliação que represente numa escala numérica as gradações nos níveis de qualidade da água para consumo humano utilizando indicadores físicos e químicos, e as gradações na qualidade biótica utilizando indicadores biológicos.
- Criar um modelo que busque levar em consideração a topografia, os padrões climáticos, a morfometria, e os mais importantes mecanismos de força física, internos e externos, que atuam na estrutura vertical e horizontal de um reservatório tropical. Para isso, prevê-se desenvolver uma Ferramenta Computacional baseada em Sistemas de Inferência Fuzzy que considere todas estas características específicas.
- Aproveitar a vantagem da Lógica Fuzzy de poder expandir e combinar facilmente dados quantitativos com informações qualitativas.

- Considerando a forte dependência da qualidade da água aos processos dinâmicos de mistura e estratificação vertical num reservatório, processos que por sua vez são dependentes das características limnológicas únicas do mesmo, o presente trabalho procura formular um modelo de avaliação de qualidade de água aderente ao Reservatório de Lajes em particular, sem a preocupação de criar um índice que seja aplicável a qualquer ambiente aquático.

1.4. Descrição do trabalho

O presente trabalho compreende o desenvolvimento de uma metodologia inteligente de avaliação da qualidade de água e qualidade biótica para um reservatório tropical oligo-mesotrófico. O modelo foi implementado através da criação de uma ferramenta computacional com base na aplicação de técnicas de lógica fuzzy, as quais podem indicar episódios de qualidade da água e qualidade biótica a partir do comportamento de indicadores e métricas.

O modelo é capaz de representar em uma escala numérica as gradações nos níveis de qualidade, além de levar em consideração a subjetividade implícita no conceito de qualidade. O sistema foi desenvolvido com base no conhecimento de especialistas em qualidade da água e em qualidade ambiental do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO) e do Departamento de Biologia Animal da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

1.5. Contribuições

O Modelo Inteligente de Avaliação da Qualidade da Água e da Qualidade Biótica – MIAQR-PALADINES - pretende contribuir para o aperfeiçoamento da indexação da qualidade da água e qualidade biótica de reservatórios com a utilização da lógica e inferência fuzzy, ferramenta considerada adequada para lidar e tratar dados de natureza subjetiva.

O MIAQR-PALADINES foi desenvolvido com o propósito de ser parte do Sistema Inteligente de Apoio à Gestão Ambiental em Unidades de Geração de Energia da Light – GERABIO, sistema que por sua vez pertence a um Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) entre a citada empresa e a PUC-Rio.

1.6. Organização do trabalho

Este trabalho está dividido da seguinte forma:

- Este primeiro capítulo onde é apresentada a introdução.
- No segundo capítulo é apresentado um resumo dos fundamentos teóricos necessários para a compreensão deste trabalho;
- O terceiro capítulo compreende a formulação do modelo inteligente.
- O capítulo quatro apresenta a ferramenta de software implementada para pôr em prática o modelo.
- O quinto capítulo mostra os resultados e análises de vários testes feitos, com objetivo de evidenciar a confiabilidade e efetividade do modelo.
- No capítulo 6 são apresentadas as conclusões do trabalho.
- Finalmente no capítulo 7, algumas propostas de trabalhos futuros são sugeridas.

