

ESTUDO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO AÇUDE GAVIÃO, MEDIANTE O MODELO DIFUSO DE OD PARA DIFERENTES TEMPERATURAS

Camila Santiago Martins Bernardini¹; Raquel Jucá de Moraes Sales²; Ingrid Fernandes de Oliveira Alencar³; Juliana Alencar Firmo de Araújo⁴; Maria Patrícia Sales Castro⁵; Silvia Helena Lima dos Santos⁶; Patricia Freire Chagas⁷; Karina Oliveira Chaves⁸; Raimundo Oliveira de Souza⁹

Resumo – A preocupação com a qualidade dos recursos hídricos levou à busca por ferramentas que contribuam com o planejamento, a distribuição e o uso desses recursos. A modelagem matemática geralmente descreve uma situação bem próxima da realidade; porém, necessita de uma grande quantidade de dados para que o modelo seja calibrado de maneira eficiente. Dessa forma, a Teoria Fuzzy está sendo amplamente utilizada uma vez que não necessita de muitos dados para fornecer resultados satisfatórios. Neste estudo, aplicou-se um modelo de qualidade de água no Açude Gavião, que abastece Fortaleza, empregando a teoria dos números difusos para analisar o OD, considerando diferentes temperaturas. Para a obtenção dos resultados, foi desenvolvido um programa computacional que permitiu a realização das simulações. Pelos resultados, observou-se que a qualidade da água do Açude Gavião se encontra dentro dos padrões previstos na legislação. Quanto ao parâmetro temperatura, verificou-se que o OD é significativamente sensível, principalmente em regiões equatoriais, como o caso do reservatório analisado, em que as temperaturas são mais elevadas, e que a aplicação da modelagem *fuzzy* para analisar a qualidade da água se mostrou eficiente, sendo possível analisar o comportamento dinâmico das funções de pertinência, possibilitando o cálculo de incertezas.

Palavras-Chave – Teoria Fuzzy. OD. Temperatura.

A QUALITY STUDY OF GAVIÃO DAM WATER, BY MEANS OF THE DIFFUSED OD MODEL FOR DIFFERENT TEMPERATURES

Abstract – Concern about the quality of water resources has led to the search for tools that may contribute to the planning, distribution and use of these resources. Mathematical modeling generally describes a situation very close to reality, but requires a large amount of data for the model to be calibrated efficiently. Thus, the Fuzzy Theory is being widely used since it does not require much data to provide satisfactory results. In this study, a water quality model was applied in the Gavião Dam, which supplies Fortaleza, using the diffuse number theory to analyze the DO, considering different temperatures. To obtain the results, a computational program was developed that allowed the simulations to be performed. From the results, it was observed that in periods of Gavião Water Quality, is within the standards established in legislation. As for the temperature parameter, it was

¹ Doutoranda em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará. E-mail: milabernardini@yahoo.com.br.

² Doutora em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará. Professora auxiliar da Universidade de Fortaleza (UNIFOR). E-mail: raqueljuca@gmail.com.

³ Bolsista de Iniciação Científica da Universidade de Fortaleza (UNIFOR). E-mail: ingrid.foa@hotmail.com.

⁴ Doutora em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará. Professora do Centro Universitário UNICHRISTUS e professora da Universidade de Fortaleza (UNIFOR). E-mail: judiaraujo@yahoo.com.br.

⁵ Doutoranda em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará. E-mail: patricia.sales@gmail.com.

⁶ Doutora em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará. Professora adjunta da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB). E-mail: silvia.santos@unilab.edu.br.

⁷ Doutora em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará. E-mail: pfchagas@yahoo.com.

⁸ Doutoranda em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará. Professora do Instituto Federal de Educação Ciência Tecnologia (IFCE). E-mail: karina.oliveira@ifce.edu.br.

⁹ Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo. Professor titular da Universidade Federal do Ceará. E-mail: rsouza@ufc.br.

verified that the OD is significantly sensitive, especially in equatorial regions, as in the case of the analyzed reservoir, where temperatures are higher. The application of fuzzy modeling to analyze water quality was efficient, which makes it possible to analyze the dynamic behavior of the pertinence functions, thus allowing the calculation of uncertainties.

Keywords – Teoria Fuzzy. OD. Temperature.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural limitado, de domínio público, indispensável para os seres vivos e de incontestável importância para o desenvolvimento de diversas atividades econômicas. Porém, as atividades antrópicas e os diversos usos indevidos das bacias hidrográficas, segundo Silva *et al.* (2012), causam impactos nos ecossistemas, e prejudicam a qualidade das águas podendo causar danos à saúde da população, por meio do consumo direto ou simplesmente pelo contato primário com essas águas contaminadas.

É de conhecimento comum que o Brasil é um país privilegiado em relação à quantidade de recursos hídricos, uma vez que detém a maior reserva de água doce do Planeta, com aproximadamente 12% do total mundial. Entretanto, apesar dessa grande oferta hídrica, sua distribuição é irregular, fazendo-se necessária a implantação de reservatórios na região do semiárido brasileiro para que o abastecimento de água seja contínuo, uma vez que nos períodos de estiagem, os rios da região secam, cessando a oferta de recurso hídrico.

Para a implantação de um reservatório, são indispensáveis estudos topográficos, geológicos, geotécnicos, hidráulicos, hidrológicos e sociais da região. Com a execução dessa obra de infraestrutura, há a criação de uma nova sociedade no local devido ao elevado número de funcionários e aos benefícios financeiros que ela trará ao território de instalação do açude. Com o desenvolvimento, há aumento da demanda hídrica, por parte dos aglomerados industriais e urbanos associados. A crescente captação de água, e a deterioração dos corpos hídricos, conseqüente dos lançamentos de efluentes irão impactar as alterações das características naturais, segundo Teles e Silveira (2006). Feitosa (2016), verificou em seu estudo que quanto mais elevada for a temperatura da água, maior será o consumo de oxigênio, acarretando uma maior concentração de demanda bioquímica de oxigênio e uma menor concentração de oxigênio dissolvido, devido à decomposição da matéria orgânica. Com esses resultados, pode-se caracterizar uma situação de degradação do corpo hídrico.

A modelagem matemática tem-se tornado uma ferramenta fundamental para a análise e preservação dos recursos hídricos, sendo vastamente empregada em estudos relacionados à qualidade da água. Os modelos matemáticos simulam situações possíveis de ocorrer e geram resultados muito próximos da realidade; Fleck *et al.* (2013) e Collischonn *et al.* (2011) reconhecem que a lógica matemática pode prover o entendimento de processos em reservatórios, simplificando interações e fornecendo soluções satisfatórias, a partir da inclusão dos principais fenômenos de interesse. Apesar dessa eficiência, grande parte dos modelos matemáticos exigem uma grande quantidade de dados monitorados para cada parâmetro que será analisado, para assim ser calibrado de forma adequada e gerar resultados condizentes com a realidade do meio em estudo.

É diante dessas situações que a Teoria Fuzzy vem-se tornando cada vez mais utilizada, pelo simples motivo de a lógica Fuzzy conseguir solucionar esses entraves sem a necessidade de um extenso banco de dados. Por meio desses conhecimentos, este estudo analisou os dados médios observados pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará - COGERGH entre os anos 2000 e 2016, com enfoque nos parâmetros de concentração de DBO e de OD, considerando diferentes

temperaturas para a avaliação da qualidade da água do Açude Gavião, pertencente à bacia metropolitana de Fortaleza, utilizando a teoria dos números difusos.

METODOLOGIA

Como aporte metodológico, foi aplicado o modelo difuso de qualidade de água em reservatórios, desenvolvido nesta pesquisa, para analisar o Oxigênio Dissolvido (OD) do açude Gavião, considerando diferentes temperaturas.

A partir das equações do balanço hidrológico e das equações de transporte de massa em reservatório, o modelo foi fundamentando e, uma vez definido, fez-se a transformação de suas equações para sua forma fuzzy, ou seja, elas foram “fuzzificadas”, sendo permitido avaliar o comportamento das diferentes variáveis de controle, como funções de pertinência, em que se tem um intervalo fechado e limitado, com limites inferiores e superiores conhecidos, porém, com informações de distribuição desconhecidas. Desenvolveu-se um programa computacional, em linguagem FORTRAN para solucionar o modelo e realizar as simulações dos dados médios fornecidos pela COGERH.

1. Caracterização da região

O reservatório em estudo foi o Açude Gavião, que está localizado no município de Pacatuba, Ceará. Ele é responsável pelo abastecimento de água tratada da capital Fortaleza e da região metropolitana, por estar a montante da Estação de Tratamento de Água – ETA Gavião.

Segundo os dados da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH, de 2017, o Açude Gavião possui 32,9 hm³ de capacidade de armazenamento, 97 Km² de área da bacia hidrográfica e 0,62m³/s de vazão regularizada. O principal sistema produtor, que abastece os municípios de Fortaleza, Caucaia, Maracanaú e Eusébio, é o sistema integrado Gavião, cuja fonte hídrica é o conjunto de reservatórios Pacajus, Pacoti, Riachão e Gavião, integrados em série.

2. Formulação do modelo

Nesta pesquisa, serão considerados como variáveis de controle, em conformidade com o modelo de qualidade de água em reservatórios, as concentrações de DBO e de OD. Sendo assim, de acordo com os princípios já explicados, essas equações são dadas, matematicamente, como:

2.1 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

$$\frac{dL}{dt} + \frac{L(Q_e + Q_t + Q_w + PA_s - E_v A_s + \forall K_r)}{\forall} = \frac{Q_e L_e + Q_t L_t + Q_w L_w + PA_s L_p + L_d \forall}{\forall} \quad (1)$$

L = Concentração de DBO [mg/L]; Q_e = Vazão de entrada [m³/s]; Q_t = Vazão do tributário [m³/s]; Q_w = Vazão do efluente [m³/s]; P = Taxa de precipitação [mm]; A_s = Área de superfície [m²]; E_v = Taxa de evaporação [mm]; K_r = Coeficiente de decaimento [dia⁻¹]; \forall = Volume [m³]; L_e = Concentração de DBO na entrada [mg/L]; L_t = Concentração de DBO no tributário [mg/L]; L_w = Concentração de DBO no efluente [mg/L]; L_p = Concentração de DBO na precipitação [mg/L]; L_d = Concentração de DBO em uma fonte difusa [mg/L].

2.2 Oxigênio Dissolvido (OD)

$$\frac{dC}{dt} + \frac{C(Q_e + Q_t + Q_w + PA_s - E_v A_s + K_a A_s)}{\forall} = \frac{Q_e C_e + Q_t C_t + Q_w C_w + PA_s C_p + K_a A_s C_s - E_v A_s C_v - \forall K_d C}{\forall} \quad (2)$$

C = Concentração de OD [mg/L]; K_a = Coeficiente de reoxigenação [dia⁻¹]; C_e = Concentração de OD na entrada [mg/L]; C_t = Concentração de OD no tributário [mg/L]; C_w = Concentração de OD no efluente [mg/L]; C_p = Concentração de OD na precipitação [mg/L]; C_s = Concentração de OD saturado [mg/L]; C_v = Concentração de OD na evaporação [mg/L]; K_d = Coeficiente de degradação [dia⁻¹].

2.3 Déficit de Oxigênio Dissolvido (Déficit de OD)

O déficit de oxigênio no reservatório é calculado pela diferença entre o oxigênio saturado presente no reservatório e o déficit de oxigênio. Assim, tem-se:

$$D = C_s - C \quad (3)$$

D = Déficit de oxigênio [mg/Lx]; C_s = Saturação do Oxigênio Dissolvido [mg/l]; C = Oxigênio dissolvido [mg/L].

A concentração de saturação do Oxigênio Dissolvido (C_s) é calculada a partir da seguinte expressão matemática, Equação 3, Thomann (1989), em que T é a temperatura em Kelvin.

$$C_s = \exp(z) \quad (4)$$

$$z = -139,34411 + \frac{1,575701 \cdot 10^5}{T} - \frac{6,642308 \cdot 10^7}{T^2} + \frac{1,2438 \cdot 10^{10}}{T^3} - \frac{8,621949 \cdot 10^{11}}{T^4} \quad (5)$$

3. Solução do modelo

3.1 Demanda Bioquímica de Oxigênio

$$L = \frac{Q_e L_e + Q_t L_t + Q_w L_w + P A_s L_p + L_d \forall}{Q_e + Q_t + Q_w + P A_s - E_v A_s + \forall K_r} \quad (6)$$

3.2 Oxigênio Dissolvido

$$C = \frac{Q_e C_e + Q_t C_t + Q_w C_w + P A_s C_p + K_a A_s C_s - E_v A_s C_v - \forall K_d L}{Q_e + Q_t + Q_w + P A_s - E_v A_s + K_a A_s} \quad (7)$$

4. Fuzzificação do modelo

Para que um dado quantitativo se transforme em um conjunto *fuzzy*, é necessário estabelecer um intervalo fechado, com limites inferiores e superiores conhecidos. No caso do modelo de qualidade de água em reservatório, cada parâmetro do modelo deverá ser transformado em uma função de pertinência, com intervalos de confiança bem definidos, para que o modelo tenha características *fuzzy*. Para que a variável de controle se torne uma variável *fuzzy*, devem ser “fuzzificados” todos os parâmetros dessa variável, sendo assim, para cada variável de controle.

4.1 Demanda Bioquímica de Oxigênio

$$\tilde{L} = \frac{\tilde{Q}_e \tilde{L}_e + \tilde{Q}_t \tilde{L}_t + \tilde{Q}_w \tilde{L}_w + \tilde{P} \tilde{A}_s \tilde{L}_p + \tilde{L}_d \forall}{\tilde{Q}_e + \tilde{Q}_t + \tilde{Q}_w + \tilde{P} \tilde{A}_s - \tilde{E}_v \tilde{A}_s + \forall \tilde{K}_r} \quad (8)$$

4.2 Oxigênio Dissolvido

$$\tilde{C} = \frac{\tilde{Q}_e \tilde{C}_e + \tilde{Q}_t \tilde{C}_t + \tilde{Q}_w \tilde{C}_w + \tilde{P} \tilde{A}_s \tilde{C}_p + \tilde{K}_a \tilde{A}_s \tilde{C}_s - \tilde{E}_v \tilde{A}_s \tilde{C}_v - \forall \tilde{K}_d \tilde{L}}{\tilde{Q}_e + \tilde{Q}_t + \tilde{Q}_w + \tilde{P} \tilde{A}_s - \tilde{E}_v \tilde{A}_s + \tilde{K}_a \tilde{A}_s} \quad (9)$$

4.3 Déficit de Oxigênio Dissolvido

$$\tilde{D} = \tilde{C}_s - \tilde{C} \quad (10)$$

5. Composição das funções de pertinência

Neste estudo, utilizou-se a distribuição *fuzzy* triangular, onde foram estimados os valores mínimo, médio e máximo de cada parâmetro “fuzzificado”, conforme o fator de variância estabelecido em outras literaturas, como Sales (2014) e Santos (2012). Cada função de pertinência é calculada de maneira que seus extremos, valores mínimo, médio e máximo, sejam estabelecidos de forma arbitrária, ou obedecendo a alguma lógica de desvio padrão.

Foram utilizados valores de desvio padrão de 20% em que, definido o valor médio do número de base, os extremos são calculados. Assim, para o valor mínimo, o cálculo é de 0,8 do valor médio estabelecido, e o valor máximo é de 1,2. Exemplificando, tem-se, para o parâmetro velocidade, a função de pertinência correspondente, Tabela 1.

Tabela 1 – Função de pertinência correspondentes ao parâmetro velocidade.

Velocidade	$\mu_u = \frac{U - U_L}{U_m - U_u}, \text{ para } U_L \leq U \leq U_m$	(11)
	$\mu_u = \frac{U - U_u}{U_m - U_u}, \text{ para } U_m \leq U \leq U_u$	

6. Programa Computacional

O programa desenvolvido para esse estudo permite a avaliação das variáveis de controle, na forma de função de pertinência e a análise de cada parâmetro do sistema, mediante a metodologia *fuzzy*. Para que isto fosse possível, foram estabelecidas um conjunto de sub-rotinas com funções bem definidas.

7. Dados para as simulações

Para os primeiros resultados do estudo da qualidade da água do Açude Gavião, mediante o modelo difuso da DBO e do OD, foram utilizados para a simulação os dados médios observados entre os anos 2000 e 2016, fornecidos pela COGERH, que estão apresentados na Tabelas 2.

Tabela 2 – Parâmetros utilizados no modelo.

Parâmetros do Reservatório		
Parâmetro	Valor	Unidade
Vazão de entrada no reservatório	21.000	m ³ /mês
Vazão regularizada	20.000	m ³ /mês
Vazão do efluente	15.000	m ³ /mês
Taxa de evaporação	0,6	m/mês
Temperatura	27	°C
Concentração de DBO no efluente	5.000	g/m ³
Coefficiente de decaimento (K _r)	0,3	dia ⁻¹
Coefficiente de reoxigenação (K _a)	0,87	dia ⁻¹
Coefficiente de degradação (K _d)	0,2	dia ⁻¹

Os valores de volumes médios anuais durante os meses de janeiro a dezembro do Açude Gavião são, respectivamente, em m³: 27.451,67; 27.248,35; 27.461,51; 28.330,72; 27.377,08; 26.961,93; 26.628,15; 26.768,79; 26.820,07; 27.193,25; 26.896,19; 27.048,37. E os valores de área superficial médias anuais durante os meses de janeiro a dezembro do mesmo são, respectivamente, em m²/mês: 5.407.771; 5.389.014; 5.408.313; 5.521.370; 5.401.271; 5.366.330; 5.341.248; 5.351.816; 5.355.670; 5.386.181; 5.361.390; 5.372.826.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados com os perfis de DBO, OD e Déficit de OD apresentados são aqueles de maior grau de pertinência, dentro da escala *fuzzy*. A Figura 1 ilustra a distribuição de DBO média anual durante os meses de janeiro a dezembro no Açude Gavião, em que foram verificados os dados de 2000 a 2016, de acordo com a COGERH.

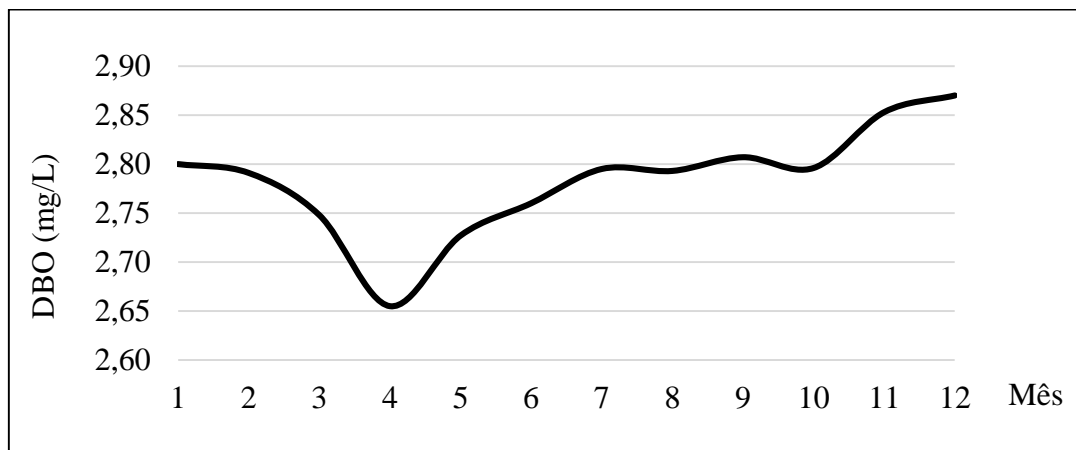


Figura 1 – Distribuição de DBO média anual.

Analisando os resultados da Figura 1, observa-se que a DBO cai significativamente no mês de abril, mês 4, e cresce de forma contínua até o mês de dezembro. Seus valores se apresentaram abaixo dos valores permitidos pela legislação, que tem como valor máximo, 5 mg/L. Este resultado permite concluir que a qualidade da água do açude, durante o período de análise, é considerada boa.

O fator de correção de temperatura, para o coeficiente decaimento, não foi considerado, razão pela qual a DBO não se alterou nas diferentes temperaturas analisadas. A Figura 2 ilustra a distribuição de OD média anual durante os meses de janeiro a dezembro no Açude Gavião, para diferentes temperaturas da água.

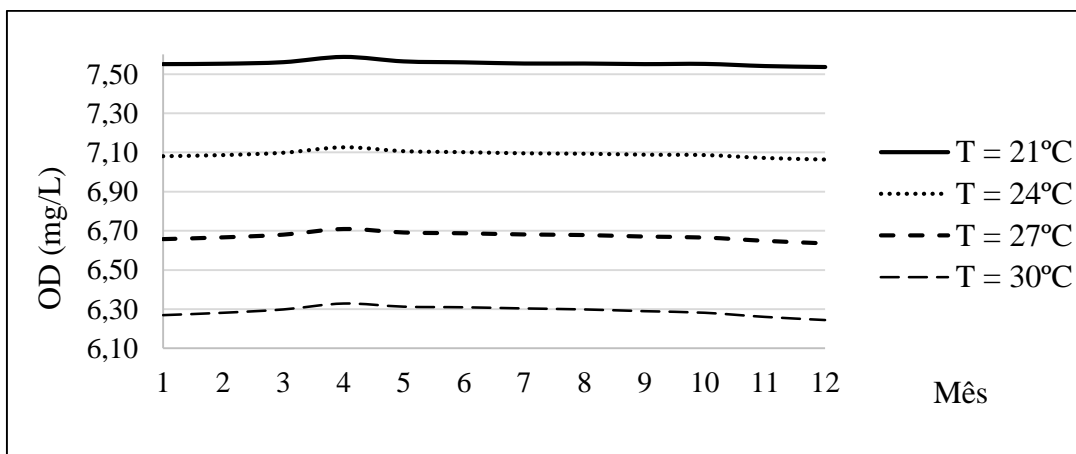


Figura 2 – Distribuição de OD média anual para diferentes temperaturas.

Como pode ser observado na Figura 2, os meses de abril, em que a DBO é mínima, possuem valores máximos de oxigênio dissolvido, variando de 6,3 mg/L, para uma temperatura de 30°C, a 7,6 mg/L, para uma temperatura de 21°C no açude. O resultado permite concluir que o oxigênio dissolvido é sensível ao parâmetro temperatura, verificando-se que em reservatórios equatoriais, cujas temperaturas são bastante elevadas, os níveis de oxigênio dissolvido são menores, fato que tornam as águas dos reservatórios com qualidade mais crítica.

Observa-se na Figura 3 a distribuição do Déficit de OD médio anual durante os meses de janeiro a dezembro no Açude Gavião. Os resultados apresentam valores inversos aos do oxigênio dissolvido, com valores, para o mês de abril, variando entre 1,35 mg/L, com temperatura de 21°C, e 1,25 mg/L, com temperatura de 30 °C no reservatório. A Figura 4 ilustra o comportamento das funções de pertinência, para diferentes temperaturas, do mês de abril.

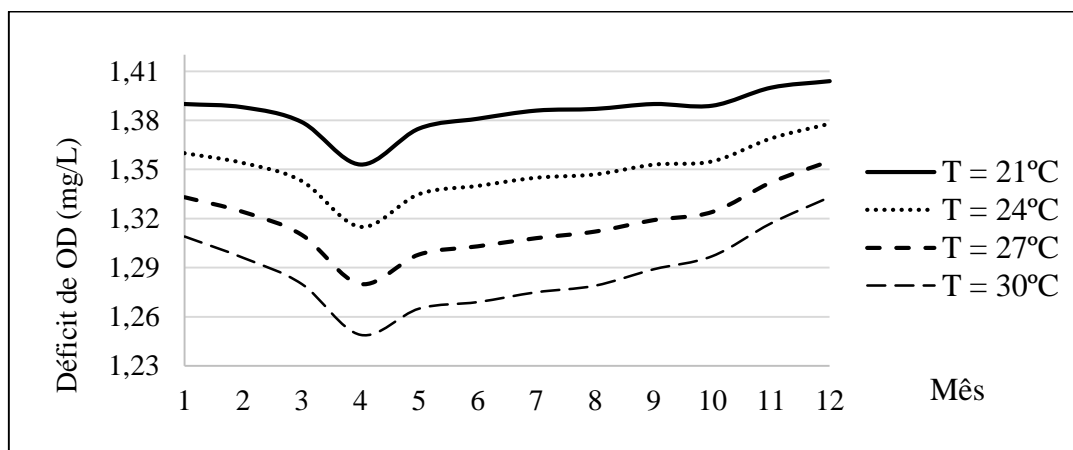


Figura 3 – Distribuição de Déficit de OD médio anual para diferentes temperaturas.

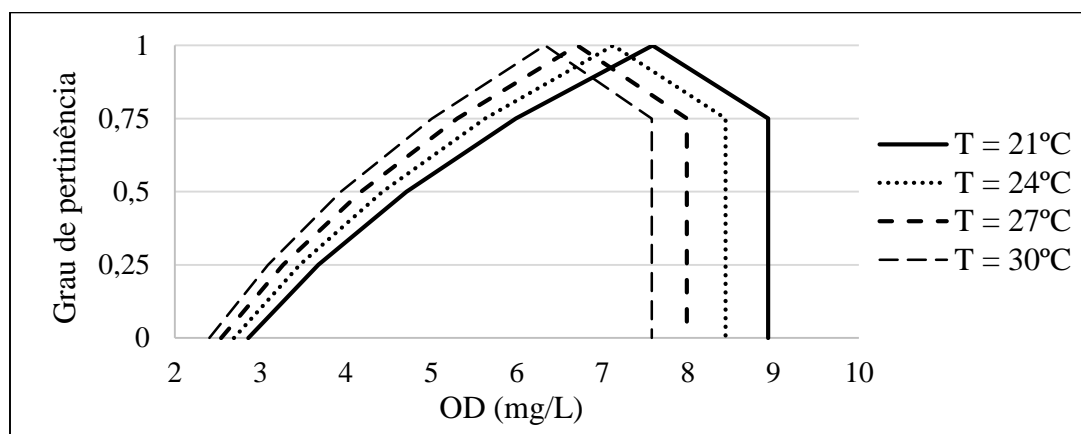


Figura 4 – Comportamento das funções de pertinência do mês de abril, para diferentes temperaturas.

Como pode ser verificado, Figura 4, na medida em que a temperatura diminui, a função de pertinência se desloca para direita, apresentando valores maiores de OD, como já evidenciado nas análises anteriores. Por exemplo, para a temperatura de 30 °C, a concentração com maior grau de pertinência é de 6,3 mg/L, enquanto que, para a temperatura de 21 °C a concentração com maior grau de pertinência é 7,6 mg/L. Este comportamento dinâmico das funções de pertinência influencia o cálculo do risco de contaminação das águas do reservatório.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados, pode-se observar que a qualidade da água do Açude Gavião encontra-se dentro dos padrões previstos pela legislação, ao analisar os parâmetros Demanda Bioquímica de Oxigênio e Oxigênio Dissolvido. Pode-se ver ainda que o mês de abril é aquele com menores valores de DBO, conseqüentemente menores valores de déficit de OD e maiores valores de OD. Isto se deve ao fato de a estação chuvosa ser concentrada neste período, ao longo dos anos analisados.

Quanto ao parâmetro temperatura, verificou-se que a DBO permanece a mesma, como já era esperado, uma vez que não foi considerada a correção da temperatura no cálculo do decaimento. No

entanto, a variável OD é significativamente sensível a este parâmetro, principalmente em regiões equatoriais, como o caso do reservatório analisado, em que as temperaturas são mais elevadas.

Finalmente, a aplicação da modelagem *fuzzy* para analisar a qualidade da água mostrou-se eficiente; por seu intermédio, é possível analisar o comportamento dinâmico das funções de pertinência, possibilitando o cálculo de incertezas.

REFERÊNCIAS

CEARÁ. *Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos*. Disponível em: www.cogerh.com.br. Acesso em: 8 de maio de 2017.

COLLISCHONN, B.; PAIVA, R.C.D.; COLLISCHONN, W.; MEIRELLES, F.S.C.; SCHETTINI, E.B.C.; FAN, F.M. *Modelagem Hidrológica de Uma Bacia com Uso Intensivo de Água: Caso do Rio Quaraí-RS*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol.16, n.4, p. 119-133, 2011.

FEITOSA, P.V.M. *Estudo da qualidade da água do rio Piranhas-Açu, para diferentes temperaturas do rio*. Monografia de Graduação de Engenharia Civil, Universidade de Fortaleza, Fortaleza, 2016.

FLECK, L.; TAVARES, M. H. F.; EYNG, E. *Especificidades e importância de modelos matemáticos de qualidade da água*. Revista EIXO, Brasília, DF, vol. 2, n. 1, p. 106-119, 2013.

PRADO, R.B. *Geotecnologias aplicadas à análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos*. 172 p. Tese (Doutorado). Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2004.

SALES, R.J.M. *Aplicação da Lógica Fuzzy no modelo de Streeter-Phelps para analisar o risco de contaminação das águas de rios, considerando múltiplos processos e múltiplos lançamentos*. 117 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2014.

SANTOS, S.H.L. *Aplicação da Teoria Fuzzy em modelos de transporte de massa para o cálculo do risco na concessão de outorga para lançamento de efluentes em rios*. 104 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2012.

SILVA, G.L.; AURELIANO, J.T.; LUCENA, S.V.O. Proposição de um índice de qualidade de água bruta para abastecimento público. *Revista de Gestão de Águas da América Latina (REGA)*. v. 9, n. 1, p. 17-24, 2012.

TELES, R.B. e SILVEIRA, A. “Autodepuração de escoamentos naturais de água Estudo de caso: aplicação de modelagem matemática em um trecho do Ribeirão Preto.” Ribeirão Preto-SP. In: *XXX - Congresso da Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental - AIDIS 2006*, Punta del Este - Uruguai. 2006.

THOMANN R.V. Bioaccumulation model of organic chemical distribution in aquatic food chains, *Environ. Sci. Techno.* 1989.