AVALIAÇÃO DA EUTROFIZAÇÃO DE UM RESERVATÓRIO TROPICAL SEMIÁRIDO

José Neuciano Pinheiro de Oliveira[1]; Arthur Mattos[1] & Vanessa Becker[1]

RESUMO

O reservatório Dourado é uma importante fonte de abastecimento para a cidade de Currais Novos, localizada na região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, nordeste do Brasil. Esse manancial vem sofrendo com um avanço no processo de eutrofização causado principalmente por elevadas cargas de nutrientes que afluem ao reservatório. Com o objetivo de avaliar o atual estado trófico do reservatório foi aplicado um modelo simplificado de estado trófico proposto para ecossistemas aquáticos tropicais, utilizando-se uma curva de distribuição probabilística e as concentrações de fósforo total e clorofila-a no reservatório ao longo do período compreendido entre maio de 2011 e março de 2012. O reservatório Dourado apresentou maior probabilidade de ser classificado como mesotrófico em relação às concentrações de fósforo total (52%) e hipereutrófico em relação às concentrações de clorofila-a (49%). A classificação do reservatório Dourado como hipereutrófico em relação às concentrações de clorofila-a é mais apropriada, visto que a elevação da biomassa algal reflete um estágio avançado de eutrofização do manancial. Conclui-se que o reservatório Dourado tende a ser classificado como hipereutrófico durante o período de estudo, sinalizando para uma tendência à elevação da eutrofização devido às elevadas concentrações de biomassa algal registradas.

ABSTRACT

The Dourado reservoir is an important source of water supply for the Currais Novos city, located in the semiarid region of Rio Grande do Norte state, northeast Brazil. This reservoir has been suffering with an advance in the eutrophication process caused by high input of nutrient loads from the watershed. In order to assess the current trophic status of the reservoir was applied a simplified model of trophic status proposed for tropical aquatic ecosystems, using a probability distribution curve and the concentrations of total phosphorus and chlorophyll-a in the reservoir during the period between May 2011 and March 2012. The Dourado reservoir had more likely to be classified as mesotrophic in relation to total phosphorus concentration (52%) and hypertrophic in relation to the concentrations of chlorophyll-a (49%). The classification of the Dourado reservoir as hypereutrophic in relation to concentrations of chlorophyll-a is more appropriate, since the increase in algal biomass reflects an advanced stage of eutrophication in the reservoir. We concluded that the Dourado reservoir tends to be classified as hypertrophic during the study, indicating a tendency for the increase of eutrophication due to high concentrations of algal biomass recorded.

Palavras-chave: Eutrofização; semiárido; reservatório.

[1]Programa de pós-graduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Av sen. Salgado Filho s\n, Natal-RN. Fone-fax: 084-32153775. Email: neuciano@gmail.com.

INTRODUÇÃO

A eutrofização pode ser caracterizada como o processo de enriquecimento das águas por nutrientes, tipicamente fósforo e nitrogênio, resultando no aumento da produção e crescimento de algas e macrófitas aquáticas, com conseqüente desequilíbrio do ecossistema aquático e progressiva degeneração da qualidade ambiental dos corpos d´água (Dodds *et al*., 2009).

O processo de eutrofização é mais crítico em corpos d'água lênticos, onde os nutrientes são lentamente removidos devido ao tempo de renovação da água ser elevado em comparação aos ecossistemas lóticos, fazendo com que os nutrientes se acumulem e fiquem disponíveis por mais tempo na coluna d'água para o consumo dos produtores primários (Neiff, 1996).

Em lagos naturais pode ser feita uma distinção entre o processo de eutrofização natural e artificial. A eutrofização natural depende somente da geologia local e das características naturais da bacia hidrográfica, enquanto que a eutrofização cultural é associada a atividades humanas que aceleram o processo além da taxa equivalente ao processo natural como, por exemplo, o aumento da quantidade de nutrientes em ecossistemas aquáticos. Esse enriquecimento pode surgir tanto através de fontes externas de formas pontuais e difusas, bem como de fontes internas do próprio ecossistema, como os sedimentos límnicos (Schindler, 2006).

Com a aceleração do processo de eutrofização mudanças significativas ocorrem no ciclo de nutrientes, refletindo diretamente na qualidade da água dos ecossistemas aquáticos. Com o aumento da disponibilidade de nutrientes ocorre um crescimento excessivo do fitoplâncton, e como conseqüência do processo de decomposição da matéria orgânica ocorre uma depleção significativa do oxigênio dissolvido, podendo ocasionar a morte das comunidades aquáticas aeróbias, gerando a perda da qualidade cênica do ambiente e o aumento da incidência de cianobactérias (Carpenter *et al.*, 1998).

Em estados avançados de eutrofização pode ocorrer a proliferação de cianobactérias em detrimento de outras espécies aquáticas. Muitos gêneros desses microrganismos, quando submetidos a determinadas condições ambientais, podem produzir toxinas que têm efeitos diretos sobre a saúde humana e provocam aumento nos custos para o tratamento da água (Carmichael *et al*., 2001).

Em mananciais localizados na região semiárida brasileira o problema da eutrofização pode ser acelerado devido a condições ambientais naturais como a alta evaporação, que tende a concentrar os nutrientes na água; o longo período de detenção da água e características pedológicas, geológicas e geomorfológicas que facilitam a lixiviação e o carreamento de nutrientes para os reservatórios (Freitas *et al*., 2011).

O reservatório Dourado, localizado na região semiárida do nordeste do Brasil, é um exemplo de reservatório que pode apresentar aumento do processo de eutrofização devido ao elevado aporte externo de nutrientes advindos de fontes não-pontuais localizadas ao longo da bacia de drenagem. Em virtude desse processo, este trabalho tem por objetivo avaliar o grau de trofia do reservatório Dourado a partir das concentrações de fósforo total e clorofila-a, visando fornecer subsídios ao manejo adequado de fontes difusas de nutrientes ao longo da bacia e a mitigação do processo de eutrofização do reservatório.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A sub-bacia do reservatório Dourado limita-se com os paralelos 06°07’ e 06° 13’ Sul e os meridianos 36°32’ e 36°16’ Oeste. A área da bacia é de 478,93 km² com um perímetro de 107,67 km, compreendendo terras dos seguintes municípios: Cerro Corá (RN) 36,5 km² (7,62%), Currais Novos (RN) 364,83 km² (76,18%) e Lagoa Nova (RN) 77,56 Km² (16,20%). Os principais rios da sub-bacia do Dourado são os rios São Bento e Areias (figura 1).

O reservatório Dourado (06°14’48” S; 36°30’30” W), está situado no município de Currais Novos, na região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil (fig.1). A capacidade máxima de acumulação do reservatório está em torno de 10.321.600,00 m³, com uma área superficial de 3,16 km², profundidade máxima de 10 m e relação AD (área da bacia drenagem): AL (área da bacia hidráulica) de 151,56. A barragem é construída em terra batida com 524 m de extensão e altura máxima de 14,50 m. A conclusão da construção do reservatório foi em 1982, a partir do barramento do rio São Bento (SEMARH, 2012).

A região possui um clima descrito pela classificação de Köppen (1928) como do tipo BSw’h’ (Estepe), caracterizado por um regime de escassez e desigual distribuição de chuvas, com média pluviométrica de 470 mm/ano e período chuvoso compreendido entre os meses de fevereiro e junho. A insolação média da região é de 3000 horas de luz solar por ano, aliada a temperaturas médias sempre superiores a 22° C, umidade relativa média anual próxima dos 64 % e evaporação potencial em torno dos 2000 mm/ano (IDEMA, 2012).

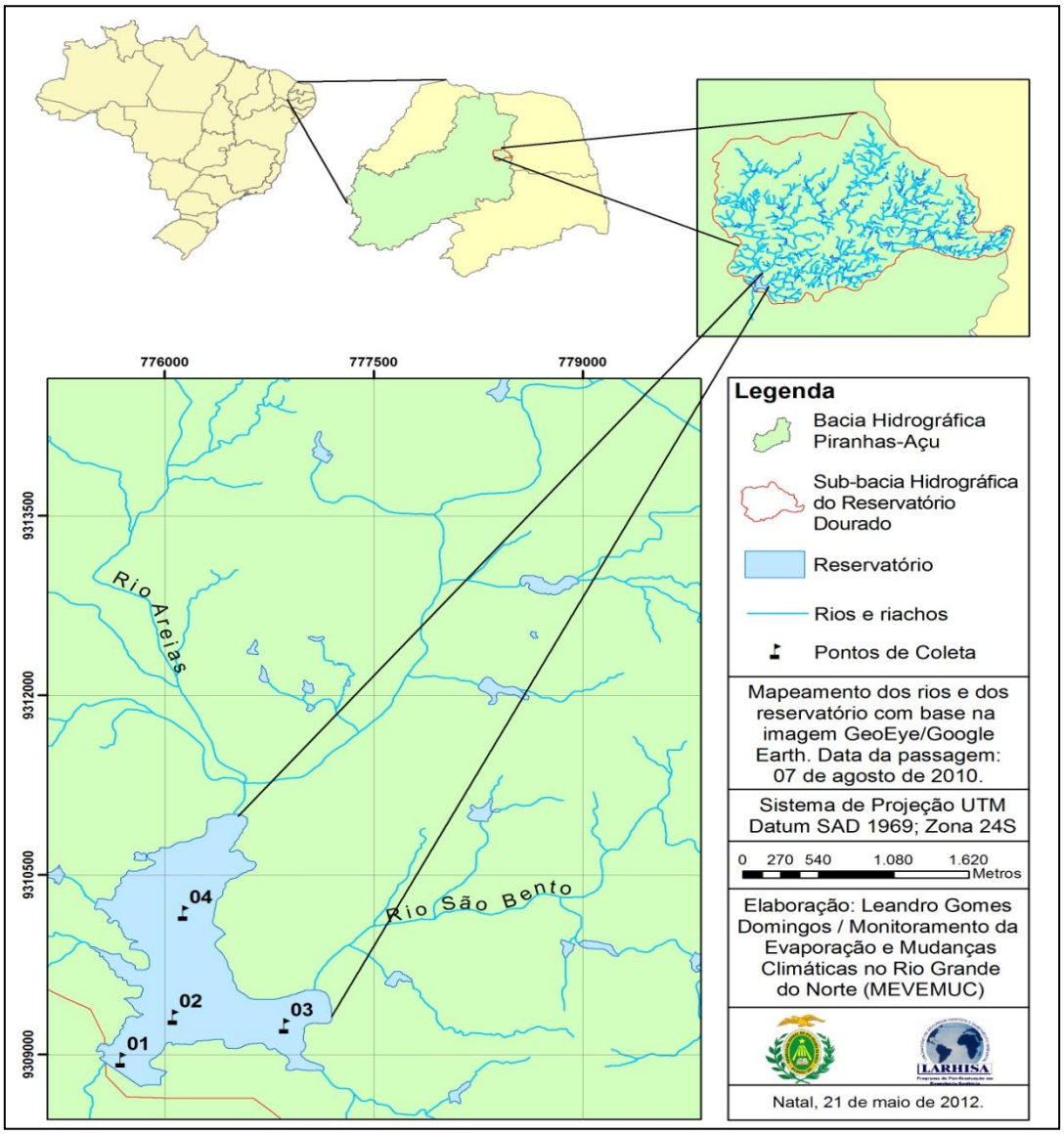

Figura 1: Mapa de localização da sub-bacia do reservatório Dourado, Currais Novos/RN, com destaque para os principais rios afluentes e os pontos de amostragem de água no reservatório. (Fonte: Projeto MEVEMUC).

Avaliação da eutrofização do reservatório

A eutrofização do reservatório Dourado foi avaliada em relação ao fósforo total a partir de um modelo simplificado de estado trófico proposto para ecossistemas aquáticos tropicais (Salas e Martino, 1991), utilizando uma curva de distribuição probabilística e o balanço de massa de fósforo no reservatório ao longo do período compreendido entre maio de 2011 e março de 2012.

Para aplicação do modelo simplificado foi utilizada uma curva de distribuição probabilística que estima a probabilidade de acontecimento de um determinado estado trófico em porcentagem a partir de dados de fósforo total (figura 2).

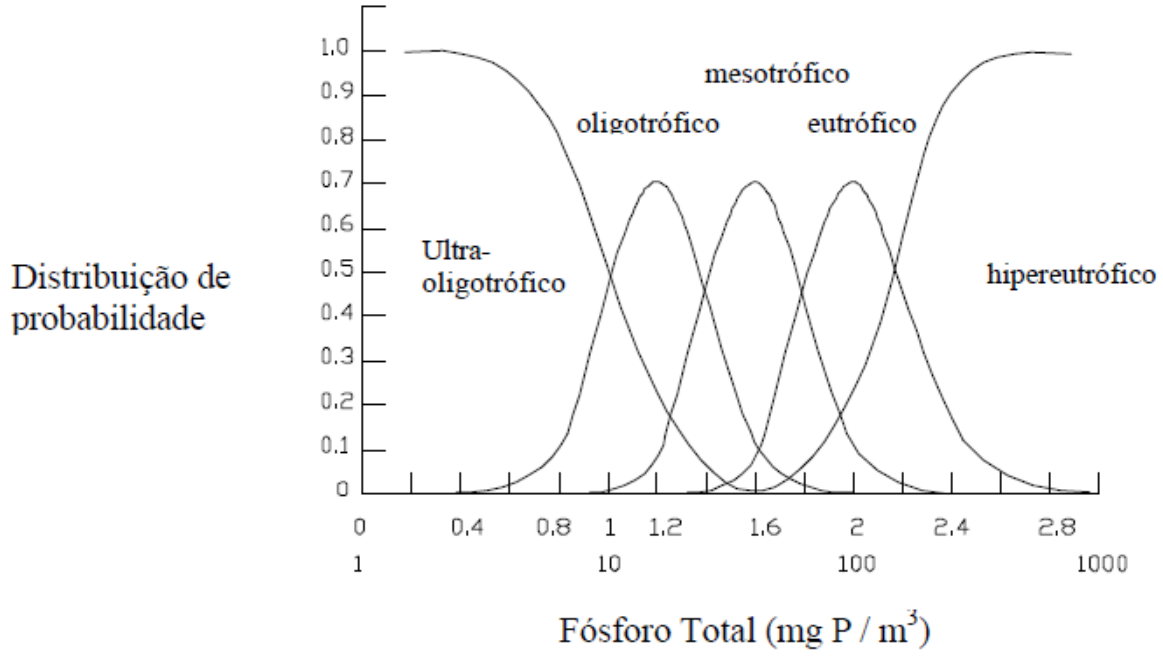

Figura 2: Distribuição probabilística de estado trófico para lagos tropicais baseada na concentração de fósforo total. Fonte: Salas e Martino (1991).

Para a utilização do valor de fósforo total no eixo X da curva probabilística e sua posterior extrapolação para obtenção da probabilidade de ocorrência de um determinado estado trófico, é necessário que esse valor esteja na forma de logaritmo da concentração de fósforo total em mg P. m^{-3}, encontrada a partir do modelo simplificado proposto por Salas e Martino (1991) (Equação 1).

$$P = \frac{L(P)}{Z} \cdot \frac{Tw^{3/4}}{3} \qquad (1)$$

Onde: P = Concentração de fósforo total em mg $P.m^{-3}$

L(P) = carga de fósforo por unidade de área do reservatório ($g.m^{-2}$. ano^{-1});

Tw = tempo de residência hidráulico (anos);

Z = profundidade média (m)

A carga de fósforo total por unidade de área do reservatório (L(P)) foi calculada com base na equação proposta por Toledo Jr. *et al.*, (1983).

$$L(P) = \frac{AD \times Lb(P)}{AL} \qquad (2)$$

Onde: L(P) = Carga de fósforo sobre o reservatório (gP total. $m^{-2}.ano^{-1}$)

AD = Área de drenagem (m^2);

Lb(P) = Coeficiente de exportação de P (gP total. $m^{-2}.ano^{-1}$);

AL = Área do reservatório (m^2)

O tempo de residência hidráulico (Tw) foi obtido a partir do quociente entre o volume médio do reservatório durante o período de estudo (m^3) e a vazão total de saída do reservatório em $m^3.ano^{-1}$, obtida pela soma das vazões de saída pelo vertedouro e para abastecimento e irrigação ao longo do período de estudo. A profundidade média do reservatório (Zmed) foi obtida a partir do quociente entre o volume médio (m^3) no período de estudo e a sua área superficial média (m^2).

A eutrofização do reservatório foi avaliada ainda em relação à clorofila-a através do mesmo modelo simplificado de estado trófico proposto por Salas e Martino, (1991), utilizando uma curva de distribuição probabilística e a concentração média anual de clorofila-a dos quatro pontos de amostragem no reservatório (figura 3). Devido à utilização da concentração média anual de clorofila-a no modelo simplificado, foram utilizados dados de clorofila-a do período compreendido entre maio de 2011 e abril de 2012.

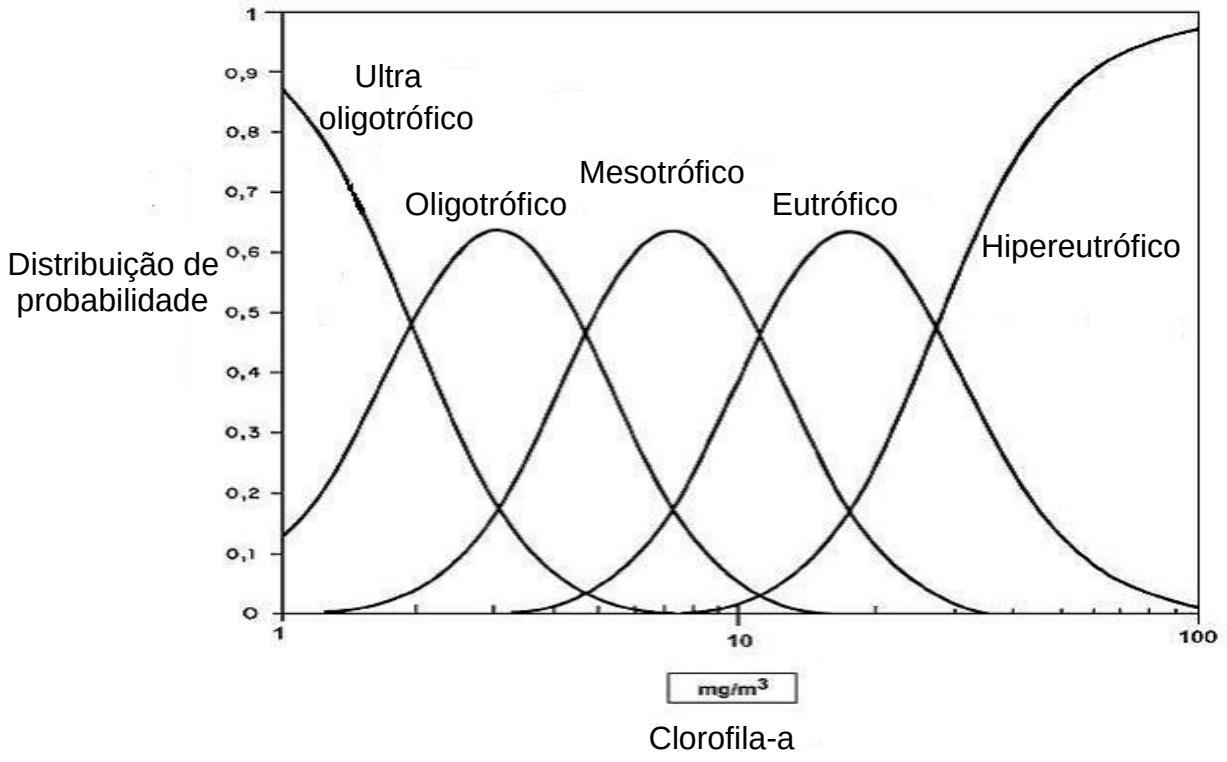

Figura 3: Distribuição probabilística de estado trófico para lagos tropicais baseada na concentração de clorofila-a.
Fonte: Salas e Martino (1991)

Análise das amostras de água

As amostras de água foram acondicionadas em garrafas de polietileno, previamente lavadas com HCl 10% e água deionizada e acondicionadas em caixas térmicas com gelo durante o transporte até o laboratório para as análises de fósforo total e clorofila-a. As concentrações de fósforo total foram determinadas pelo método colorimétrico proposto por Valderrama (1981). Para a análise de Clorofila-a na água do reservatório as amostras foram previamente filtradas em

membranas de fibra de vidro e as concentrações determinadas por espectrofotometria após extração com etanol 95% (Jespersen & Christoffersen, 1988).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na estimativa do estado trófico do reservatório Dourado em relação ao fósforo total, utilizou-se os valores da carga de fósforo por unidade de área do reservatório (L(P)), do tempo de residência da água (Tw) e da profundidade média (Zmed) (tabela 1) na equação 1.

Tabela 1: Valores dos parâmetros carga de fósforo por unidade de área do reservatório (L(P)), tempo de residência da água (Tw) e profundidade média (Zmed) encontrados para o reservatório Dourado, Currais Novos/RN, durante o período compreendido entre maio de 2011 e março de 2012.

Parâmetro	Valor
Carga de fósforo por unidade área (L(P))	0,63 $g.m^{-2}.ano^{-1}$
Tempo de residência da água (Tw)	303 dias
Profundidade média (Zmed)	3,02 m

Para o reservatório Dourado a concentração de fósforo total calculada foi de 60,0 mg $P.m^{-3}$. Convertendo-se esse valor para logaritmo, obtêm-se como resultado 1,77 mg $P.m^{-3}$, que, quando aplicado no eixo X da curva de distribuição probabilística, origina o gráfico representado na figura 4.

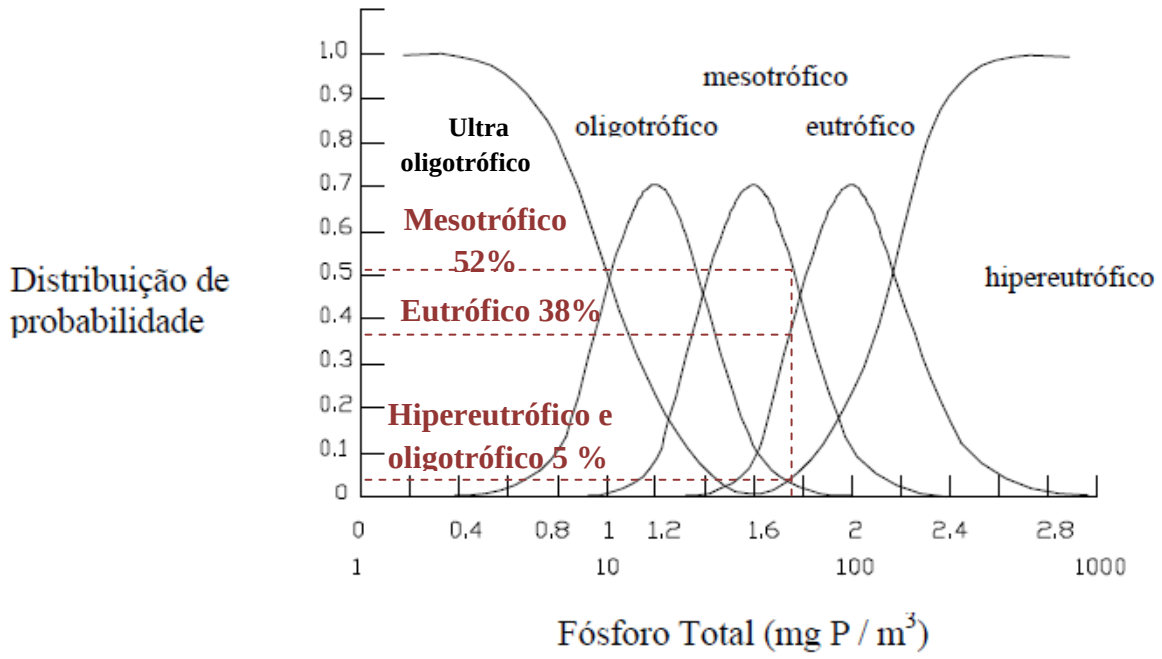

Figura 4: Distribuição probabilística de estado trófico com base nas concentrações de fósforo total para o reservatório Dourado, Currais Novos/RN, no período compreendido entre maio de 2011 e março de 2012.

De acordo com o modelo adotado para avaliação de estado trófico através das concentrações de fósforo total, observou-se uma maior probabilidade do reservatório Dourado ser classificado como mesotrófico (52%). Com probabilidades moderadas apresentou-se o estado eutrófico (38%) e com probabilidades reduzidas apresentaram-se os estados hipereutrófico e oligotrófico (5%).

Na estimativa do estado trófico do reservatório Dourado a partir das concentrações médias anuais de clorofila-a dos quatro pontos de amostragem localizados no reservatório, durante o período compreendido entre maio de 2011 e abril de 2012, encontrou-se o valor médio de 28,4 mg cl-a.m^{-3}. Aplicando-se esse valor no eixo X da curva de distribuição probabilística, obtêm-se o gráfico representado na figura 5.

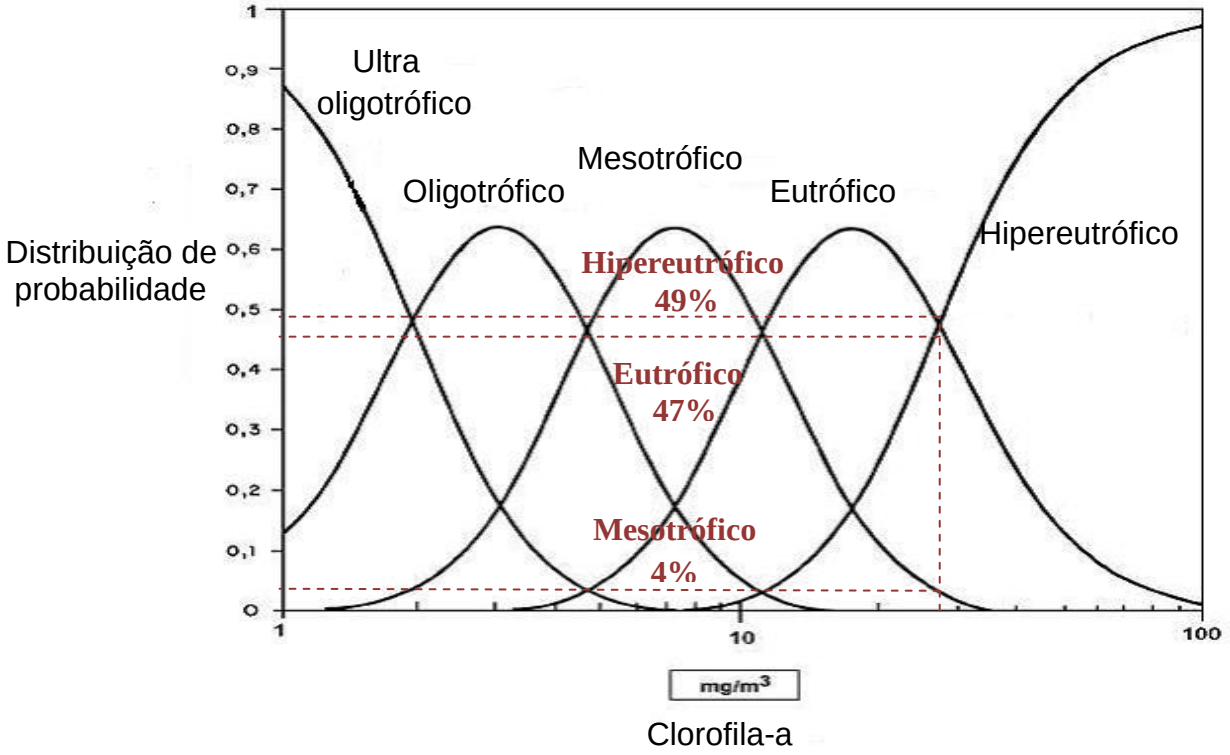

Figura 5: Distribuição probabilística de estado trófico com base nas concentrações anuais de clorofila-a para o reservatório Dourado, Currais Novos/RN, no período compreendido entre maio de 2011 e abril de 2012.

Com base nas concentrações anuais de clorofila-a, observou-se uma maior probabilidade do reservatório Dourado apresentar estado mais elevado de eutrofização em relação à avaliação feita através das concentrações de fósforo total. Observou-se uma maior probabilidade de ocorrência dos estados hipereutrófico (49%) e eutrófico (47%) em relação ao estado mesotrófico (4%), que apresentou baixas probabilidades de ocorrência.

De acordo com o estado trófico estimado a partir do modelo proposto por Salas e Martino (1991), o reservatório Dourado tende a ser classificado como mesotrófico em relação às concentrações de fósforo total e hipereutrófico em relação às concentrações de clorofila-a. Segundo Thornton e Rast (1993) o valor mais indicado como limite entre os estados mesotrófico e eutrófico

em regiões semiáridas seria de 60 µg.l^{-1} para fósforo total e de 12 µg.l^{-1} para clorofila-a. Com base nessa classificação o reservatório Dourado esteve no limite entre os estados mesotrófico e eutrófico em relação as concentrações de fósforo total e foi classificado como eutrófico em relação as concentrações de clorofila-a, mostrando certa coerência em relação à classificação proposta neste estudo. Salienta-se que a classificação do reservatório como hipereutrófico em relação às concentrações de clorofila-a é mais apropriada, visto que a elevação da biomassa algal reflete um estágio avançado de eutrofização do manancial.

Estudos recentes detectaram condições tróficas que variaram de eutrofia para meso e hipertrofia-eutrofia em reservatórios utilizados para abastecimento público da bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu, na qual o reservatório Dourado está inserido (Eskinazi-Sant'Anna *et al.*, 2007; Souza *et al.*, 2008; Costa *et al.*, 2009). Segundo esses autores as elevadas concentrações de nitrogênio e fósforo total, além da elevada biomassa algal (valores médios superiores a 20µg.l^{-1}), foram fatores determinantes para os elevados níveis tróficos registrados.

De acordo com Costa *et al.*, (2009) fatores como a seca prolongada, alta evaporação e longo tempo de residência da água tendem a concentrar os nutrientes nos reservatórios do semiárido do Rio Grande do Norte, favorecendo o estabelecimento de condições eutróficas. Em relação à biomassa algal, a redução do volume e a escassa profundidade dos reservatórios potiguares na seca, associados às altas concentrações de nutrientes, parecem promover a elevação da turbidez e a diminuição da disponibilidade de luz, favorecendo a prevalência e aumento da biomassa de espécies como as cianobactérias que se adaptam melhor a estas condições ambientais (Brasil, 2011).

As altas concentrações de biomassa algal, especialmente de cianobactérias, em reservatórios do semiárido do Rio Grande do Norte estão frequentemente associadas a condições eutróficas (Costa *et al.*, 2009; Chellapa *et al.*, 2008; Chellapa *et al.*, 2009) refletindo a condição hipereutrófica obtida para o reservatório Dourado em relação à concentração de clorofila-a.

CONCLUSÕES

- O reservatório Dourado tende a ser classificado como hipereutrófico durante o período de estudo, sinalizando para uma tendência à elevação da eutrofização devido às elevadas concentrações de biomassa algal registradas.

- São necessárias medidas corretivas que mitiguem o avanço do processo de eutrofização no reservatório Dourado, particularmente a redução de cargas externas de nutrientes que adentram ao reservatório e contribuem para a manutenção ou agravamento do processo.

BIBLIOGRAFIA

BRASIL, J. (2011). *Ecologia do fitoplâncton em reservatórios do semiárido brasileiro: da abordagem funcional da comunidade à variabilidade intra-específica*. Tese de doutorado, UFRJ. 164 p. Rio de Janeiro/RJ.

CARMICHAEL, W.W.; AZEVEDO, S.M.; MOLICA, R.J.R.; JOCHIMSEN, E.M.; LAU, S.; RINEHART, K.I.; SHAW, G.R.; EAGLESHAM, G.K. (2001). *Human fatalites from cyanobacteria: chemical and biological evidence for cyanotoxins*. Environmental Health Perspectives, 109 (7) 663-668.

CARPENTER, S.R.; CARACO, D.L.; CORRELL, R.W.; HOWARTH, R.W.; SHARPLEY, A.N. AND SMITH, V.H. (1998). *Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. Ecological Applications*. 8 (3), 559-568.

CHELLAPPA, N.T.; BORBA, J.M. AND ROCHA, O. (2008). *Phytoplankton community and physical-chemical characteristics of water in the public reservoir of Cruzeta, RN, Brasil*. Brazilian Journal of Biology, 68 (3), 477- 494.

CHELLAPPA, N.T.; CÂMARA, F.A.R. AND ROCHA, O. (2009). *Phytoplankton community: indicator of water quality in the Armando Ribeiro Gonçalves Reservoir and Pataxo Channel, Rio Grande do Norte State, Brazil*. Brazilian Journal of Biology, 69 (2), 631-637.

COSTA, I.A.S.; CUNHA, S.R.S.; PANOSSO, R.; ARAÚJO, M.F.F.; MELO, J.L.S. & ESKINAZI-SANT'ANNA, E.M. (2009). *Dinâmica de cianobactérias em reservatórios eutróficos do semiárido do Rio Grande do Norte.* Oecologia Brasiliensis, 13 (2), 382-401.

DODDS W.K., BOUSKA W.W., EITZMANN J.L., PILGER T.J., PITTS K.L., RILEY A.J., SCHLOESSER J.T. AND THORNBRUGH J.D. (2009). *Eutrophication of U.S. freshwaters: analysis of potential economic damages*. Environmental science and technology, 43 (1), 12-19.

ESKINAZI-SANT'ANNA, E.M.; MENEZES, R.; COSTA, I.S.; PANOSSO, R.F.; ARAÚJO, M.F. & ATTAYDE, J.L. (2007). *Composição da Comunidade Zooplanctônica em Reservatórios Eutróficos do Semiárido do Rio Grande do Norte*. Oecologia Brasiliensis, 11 (3), 410-421.

FREITAS, F.R.S., RIGHETTO A. M., ATTAYDE J.L. (2011). *Cargas de fósforo total e material em suspensão em um reservatório do semiárido brasleiro*. Oecologia Australis. 15(3), 655-665.

JESPERSEN, A.M. & CHRISTOFFERSEN, K. (1988). *Measurements of chlorophyll-a from phytoplankton using ethanol as extraction solvent*. Arch. Hydrobiol. 109, 445-454.

NEIFF, J. J. (1996). *Large Rivers of South America: toward the new approach*. Verh. Internt. Verein. Limnol., 26, 167-180.

RIO GRANDE DO NORTE. INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE – IDEMA (2012). *Perfil do seu município*. Disponível em: http//www.idema.rn.gov.br//. Acesso em 11 de Abril de 2012.

RIO GRANDE DO NORTE. SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS – SEMARH (2012). Disponível em: http//www.semarh.rn.gov.br//. Acesso em 11 de Abril de 2012.

SALAS, H.; MARTINO, P. (1991). *A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes.* Water Research, 25 (3), 341-350.

SCHINDLER, D.W. (2006) *Recent advances in the understanding and management of eutrophication*. Limnol. Oceanogra. 51, 356–363.

SOUZA, W.; ATTAYDE, J.L.; ROCHA, E. E ESKINAZI-SANT´ANNA, E.M. (2008). *The response of zooplankton assemblages to variations in the water quality of four man-made lakes in semi-arid northeastern Brazil.* Journal of Plankton Research, 30, 699-708.

THORNTON, J.A. & RAST, W. (1993). *A test of hypothesis relating to the comparative limnology and assessment of eutrophication in semi-arid man-made lakes*. In: Straskraba, M.; Tundisi, J.G. and Duncan, A. (eds.). Comparative reservoir limnology and water quality management 1-24. Kluwer Academic Publishers.

TOLEDO JR, A.P.; TALARICO, M.; CHINEZ, S.J.; & AGUDO, E.G. (1983). *A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais*. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Balneário Camboriú, SC. p. 1-34.

VALDERRAMA, J.C., (1981). *The simultaneous analysis of total N and total P in natural waters*. Mar. Chem. 10, 109-122.