

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE À EUTROFIZAÇÃO DO RESERVATÓRIO DE BROTAS A PARTIR DA ESTIMATIVA DO APORTE DE FÓSFORO

Elizabeth Cavalcante Bezerra de Lima¹ & Maria Mariah M. W. E. Costa de Farias^{2} & Cícera Robstânia Laranjeira dos Passos²*

Resumo – A eutrofização tornou-se um problema mundial a ser combatido. Atualmente, ameaça reservatórios de abastecimento em muitos países sendo que seu controle é urgente. O presente estudo foi realizado na sub-bacia do Rio Pajeú especificamente na barragem de Brotas no semiárido pernambucano. O objetivo foi avaliar o estado trófico da barragem, a partir da estimativa da carga poluente dos esgotos e da concentração de fósforo no reservatório. De acordo com o presente estudo e com base na resolução CONAMA 357/05, a barragem de Brotas foi classificada como eutrófica. Os resultados apontam que as características morfométricas como profundidade média e tempo de retenção hidráulica além da sensibilidade do corpo hídrico são de importância fundamental para avaliar atual situação da qualidade da água.

Palavras-Chave – esgoto doméstico, nutrientes, estado trófico.

EVALUATION OF VULNERABILITY TO EUTROPHICATION OF BROTAS RESERVOIR FROM THE ESTIMATE OF PHOSPHORUS CONTRIBUTION

Abstract – Eutrophication has become a global problem to be tackled. Currently, threatens supply reservoirs in many countries, but with control is urgent. The present study was carried out in the sub-basin of the Pajeú river, specifically in Brotas reservoir, located at semiarid pernambucano. This paper aimed to assess the trophic state of the reservoir, based on estimation of pollutant load of wastewater and the concentration of phosphorus in the reservoir. According to this study and based on CONAMA resolution 357/05, the reservoir studied was classified as eutrophic. The results indicate that the morphometric characteristics such as mean depth and hydraulic retention time beyond the sensitivity of the water body are very important to evaluate the current situation of water quality.

Keywords – domestic sewage, nutrients, trophic state.

INTRODUÇÃO

A água é o elemento essencial para a existência da vida na Terra, todos os seres vivos dependem dela para sobreviver e para garantir a permanência da espécie. A água sustém a vida, no entanto quando a água é de má qualidade pode trazer riscos à saúde pública. A qualidade da água é afetada por diversos fatores externos, tanto naturais quanto antrópicos, os quais incluem a hidrografia, o clima, a geologia, o uso do solo, a destruição da cobertura vegetal, a urbanização sem planejamento e o lançamento de esgotos sem tratamento (TUNDISI, 2003).

¹ Especialização em Educação, Conservação e Manejo dos Recursos Naturais do Semiárido Brasileiro, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – IFPE Campus Afogados da Ingazeira, bethsindy@yahoo.com.br.

² Docente do Curso Técnico em Saneamento, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – IFPE Campus Afogados da Ingazeira, mariahfarias@yahoo.com.br; cicera.robstania@afogados.ifpe.edu.br

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) traduz de maneira significativa quanto importante deve ser a qualidade da água e dentre seus desígnios busca “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos” (Art. 2º, Cap. II, Tit. I, Lei n.º 9.433).

No entanto, o lançamento de efluentes sem tratamento e ricos em nutrientes (como nitrogênio e fósforo) nos corpos d’água pode ocasionar a floração excessiva de vegetação aquática, ou seja, a eutrofização, que pode ocasionar a liberação de cianotoxinas, as quais podem ser tóxicas, o que implica no comprometimento do seu uso para o abastecimento público.

Acerca deste assunto, Telles e Costa conceitua que:

A eutrofização é um fenômeno pelo qual a água é acrescida principalmente por compostos nitrogenados e fosforados. Ocorre pelo depósito de fertilizantes utilizados na agricultura ou de lixo e esgotos domésticos, além de resíduos industriais. Isso promove o desenvolvimento de uma superpopulação de microorganismos decompositores, que consomem o oxigênio, acarretando a morte das espécies aeróbicas (TELLES e COSTA 2010, p. 375).

Segundo Wetzel (1993) a eutrofização é um dos estágios da sucessão natural dos ecossistemas aquáticos. Ao modo que o tempo passa e os nutrientes vão se acumulando, há um desenvolvimento crescente das populações fitoplânctônicas, sendo observável o florescimento de algas.

A poluição dos corpos d’água pela água pelo aporte de fósforo pode sobrevir de escoamentos industriais, domésticos, detergentes, fezes de animais e fertilizantes lixiviados dos solos. De modo que, Ferreira Júnior (2011) o descreve como:

Um dos elementos químicos que mais tem proporcionado preocupações, especialmente nos países economicamente desenvolvidos. Essas preocupações se devem, não ao fato do fósforo de ser um contaminante em si, mas por ser considerado o elemento que mais contribui no desencadeamento da eutrofização dos ecossistemas aquáticos (FERREIRA JUNIOR, 2011, p.58).

Sendo assim, o controle da eutrofização está intimamente ligada ao controle dessa carga poluidora nos ecossistemas aquáticos. Segundo Figueiredo *et al.* (2007) em função da eutrofização, muitos reservatórios e lagos do mundo já perderam sua capacidade de abastecimento de populações, de manutenção da vida aquática e de recreação.

Há consequentemente vastos danos para os seres humanos e outros seres, decorrentes da eutrofização, assim como prejuízos de bens e serviços, tais como perda da balneabilidade, da biodiversidade, da capacidade de abastecimento, além dos prejuízos dos valores estéticos e turísticos, dentre outros.

O objetivo desse artigo consiste em avaliar o estado trófico da barragem de Brotas, localizada na bacia hidrográfica do Pajeú, semiárido pernambucano, a partir da estimativa da carga afluente e da concentração de fósforo no reservatório. Esse trabalho tem importância primordial para o estabelecimento de diretrizes ambientais que contribuirão para a gestão adequada do reservatório e com a melhoria da qualidade de vida da população que é abastecida por essa fonte d’água.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Pajeú (Figura 1) está localizada no sertão pernambucano, entre as coordenadas 07º 16’ 20” e 08º 56’ 01” de latitude sul, e 36º59’ 00” e 38º57’ 45” de longitude oeste.

Segundo a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), é a maior bacia do estado de Pernambuco, com uma área de 16.685,63 km², correspondendo a 16,97% da área total do estado. A área de drenagem da bacia envolve 27 municípios, com uma população estimada em 385 mil habitantes distribuídos entre as zonas rural e urbana. A região ainda está sujeita a intempéries climáticas, passando por longos períodos de escassez hídrica devido à irregularidade das chuvas do semiárido brasileiro.



Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do Pajeú.

Dentre os trinta (30) reservatórios presentes na bacia do rio Pajeú, a barragem de Brotas, com capacidade de 19.639.577 m³, será objeto do presente estudo. Situada em Afoogados da Ingazeira, está a 525 metros de altitude em relação ao nível do mar, tem sua posição geográfica definida pelas coordenadas de -07°45' 03" de latitude e -37° 38' 21" de longitude. Este município possui uma área territorial de 378 km² e uma população de 35.088 habitantes de acordo com censo demográfico do IBGE (2010). Apresenta clima quente com temperaturas variando entre 20°C e 35°C e uma pluviosidade média de 557, 50 m³ ao ano (IPA, 2013).

De acordo com a Base de Dados do Estado do Pernambuco (2013), os solos são do tipo luvisolo, neossolo e litólico com relevo suave-ondulado, cortado por vales estreitos e a vegetação predominante são as florestas subcaducifólia e caducifólia.

Os municípios listados abaixo (Tabela 1) compõe a bacia de contribuição da barragem de Brotas.

Tabela 1 – Municípios cujos núcleos urbanos estão inseridos na área da bacia de contribuição

Município	População total (Hab.)	População urbana (Hab.)	População rural (Hab.)
Brejinho	7307	3386	3.921
Igaraci	11779	6110	5.669
Ingazeira	4496	2456	2.040
Itapetim	13881	8426	5.455

Santa Terezinha	10991	6876	4.115
São José do Egito	31829	20960	10.869
Solidão	5744	1831	3.913
Tabira	26427	19769	6.658
Tuparetama	7925	6351	1.574

Fonte: IBGE (2010)

MATERIAIS E MÉTODOS

Carga Poluente

Para estimativa das cargas poluentes foram consideradas as cargas pontuais, provenientes das sedes municipais dentro da bacia que despejam seus esgotos sem tratamento nos cursos d'água excluindo os domicílios que possuíam fossas sépticas. Foi utilizado como valor de referência para estimativa da carga poluidora o valor de 14 mg/l de fósforo no esgoto doméstico (VON SPERLING, 1995) e como vazão de esgoto foi calculado 80% do consumo de água de acordo com os dados de consumo per capita de água potável disponibilizados pelo SNIS (2010). Para total da população, foram utilizados os dados do Censo do IBGE (2010). A carga poluidora afluenta (carga de fósforo) foi transformada em concentração de fósforo adotando-se a equação de Salas e Martino (1991) *apud* Sperling (1996) considerando que este método baseia-se no estudo de lagos e reservatórios de clima tropical, incluindo ecossistemas brasileiros.

A equação da concentração de fósforo, (SALAS; MARTINO, 1991)

$$P = \frac{L \cdot 10^3}{V \cdot (1/t + 2 \sqrt{t})} \quad (1)$$

Onde:

P = concentração de fósforo no corpo d'água (g/m³) V = volume do lago (m³)
L = carga afluenta de P (kg/ano) t = tempo de retenção hidráulica (ano).

Vulnerabilidade à eutrofização

A classificação quanto à vulnerabilidade à eutrofização foi realizada tendo por base o gráfico de carga anual por metro quadrado versus profundidade média e tempo de retenção hidráulica anual (VOLLENWEIDER *apud* HELOU, 1997).

Para o tempo de retenção hidráulica foi calculado a capacidade máxima da barragem dividida pelo aporte médio anual de água para o ano de 2012 (Eq. 2). As informações sobre capacidade máxima e aporte médio anual foram fornecidos pela Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos do estado (SRH – PE).

$$TRH = \frac{\text{Capacidade Máxima do Reservatório (CMR)}}{\text{Aporte Anual Médio (AAM)}} \quad (2)$$

A vulnerabilidade foi classificada de acordo com os indicadores como baixa (1), média (2) ou alta (3) vulnerabilidade à eutrofização. Foi feito ainda uma análise, que determinou a vulnerabilidade ambiental do reservatório à eutrofização considerando-se os dois fatores analisados: carga poluidora afluenta e sensibilidade do reservatório.

Sensibilidade

A profundidade relativa é a relação entre a profundidade máxima e o diâmetro médio de um lago ou represa, sendo o valor fornecido em unidades percentuais. A profundidade relativa foi estimada de acordo com equação descrita em Schäffer (1985) e a partir do valor obtido foi atribuído o grau de vulnerabilidade para este indicador (Tabela 2).

Lagos pequeno e profundo apresenta elevadas profundidades relativas 4%, ao passo que aqueles grandes e rasos o valor deste parâmetro é 2%, (SCHÄFFER 1985; von SPERLING, 1997).

Esta relação pode ser expressa pela equação 3, onde Z_r é a profundidade relativa em percentual, $Z_{\max}$ é a profundidade máxima (expressa em metros) e A_0 é a área da superfície em metros quadrados.

$$Z_r = \frac{50 \cdot Z_{\max} \cdot \sqrt{\pi}}{\sqrt{A_0}} \quad (3)$$

Tabela 2 – Profundidade relativa e graus de vulnerabilidade à eutrofização segundo Schäfer (1985)

Profundidade relativa (Z_r)	Grau de vulnerabilidade
$Z_r > 4\%$	1
$2\% \leq Z_r \leq 4\%$	2
$Z_r < 2\%$	3

Para o estudo da barragem de Brotas foi utilizado dados de cota x área do espelho d'água disponibilizados pela Secretaria de Recursos Hídricos de Pernambuco para o ano de 2012, conforme apresentados na Tabela 3. Com esses dados apurados, foi possível calcular a profundidade média e profundidade relativa do reservatório de Brotas.

Tabela 3 – Dados fornecidos pela SRH-PE

Parâmetros	Brotas
Cota máxima (m)	527,37
Área do espelho d'água (m^2)	4.678.921

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Integram a bacia de contribuição da barragem Brotas um total de nove municípios com população total de 120.379 habitantes e com uma população urbana de 76.165 habitantes de acordo com o último censo do IBGE (2010). Do total de 29.782 domicílios dos municípios estudados, apenas 686 domicílios possuíam fossas sépticas e os demais usavam meios alternativos como: vala, fossa rudimentar, rio, lago ou mar e outros formas de carreamento de acordo com CONDEPE (2007).

Aporte de Fósforo

Para o cálculo da contribuição de esgoto doméstico na bacia de contribuição, considerou-se a população urbana total da área deduzindo-se a população atendida por fossas sépticas, uma vez que na região não há estações de tratamento de efluentes (ETE's) para manejo adequado do esgoto doméstico.

O resultado da carga pontual oriunda do esgoto doméstico afluente ao reservatório de Brotas foi de 14.885,27 kg/ano de fósforo. Esse valor foi aplicado na fórmula de Salas e Martino para estimativa da concentração de fósforo em lagos tropicais (Eq.1), resultado apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Carga e concentração de P estimada para o reservatório de Brotas

	Brotas
População urbana	76.165
População que contribui	41.147
Carga de P kg/ano	14.885,27
Concentração de P (mg/l)	0,08

A concentração estimada de fósforo no reservatório de Brotas foi de 0,08 mg/l, considerando apenas a carga poluente proveniente dos esgotos domésticos lançados nos cursos d'água sem tratamento adequado. Este valor não atende à resolução CONAMA nº 357/2005, que prevê que a concentração máxima deste nutriente em ambientes lênticos de água doce Classe 2 não deve ultrapassar 0,03 mg/l.

De acordo com este resultado, pode-se inferir que o reservatório encontra-se em estado eutrófico, com base na literatura de referência (VON SPERLING, 1995), confirmada por Tundisi (2008) que citam como eutrófico o corpo d'água cujos valores para concentração de fósforo estão entre 0,025 mg/l e 0,1 mg/l.

Considerando-se que a concentração máxima permitida de P total em ambientes lênticos de Classe 2 é de 0,03 mg/l (Resolução CONAMA nº 357/05), foi possível determinar a carga máxima admissível que poderia chegar ao reservatório, que seria de 5.550 kg/ano.

Nestas circunstâncias, haveria a necessidade de reduzir a carga afluenta de fósforo de 14.885,27 kg/ano para 5.550 kg/ano, ou seja, uma redução de aproximadamente 62%. De igual modo, deveria haver uma redução de lançamento diário de efluentes domésticos sem tratamento de 2.912 l/dia para 1.085 l/dia. Estas ações permitiriam manter o reservatório dentro dos padrões estabelecidos pela resolução CONAMA nº 357/05.

Vulnerabilidade à eutrofização

Os dados morfométricos necessários para o cálculo da profundidade média e do tempo de detenção hidráulica para o ano de 2012 foram obtidos junto à SRH - PE. Os resultados são elencados na Tabela 5.

Tabela 5 – Dados do reservatório

	Brotas
Capacidade (m ³)	19.639.577
Espelho d'água (m ²)	4.678.921
Profundidade média (m)	3,007157
Tempo de detenção hidráulica - TDH (ano)	0,2
Carga/m ² .ano (g P/m ² .ano)	3,18
Profundidade média/TDH (m/ano)	14,9

A Figura 2 representa a vulnerabilidade à eutrofização do reservatório examinado, onde foram considerados fatores tais como: carga poluente, área do espelho d'água, profundidade média e o tempo de detenção hidráulica.

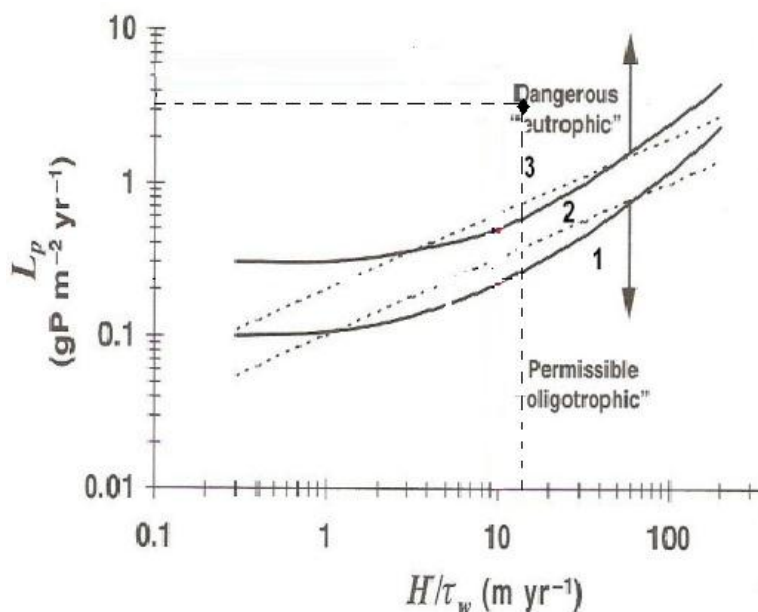


Figura 2 – Adaptação do gráfico de carga anual por metro quadrado de espelho d'água versus profundidade média e tempo de detenção hidráulica anual (VOLLENWEIDER apud CHAPRA, 2008).

De acordo com esse gráfico chegar-se a conclusão de que a barragem de Brotas encontra-se na região denominada “Dangerous eutrophic”, ou seja, o referido reservatório apresenta um alto índice de vulnerabilidade à eutrofização, se considerarmos as variáveis carga poluente, área do espelho d'água, profundidade média e o tempo de detenção hidráulica.

Sensibilidade

O cálculo da profundidade relativa da barragem Brotas, de acordo com a equação proposta por Schafer (1985) demonstra que a profundidade do reservatório é pequena tendo sua área de superfície maior, portanto apresenta alta vulnerabilidade a eutrofização por possuir profundidade relativa de 0,17%, conforme explanado na Tabela 6.

Tabela 6 - Vulnerabilidade devido à profundidade relativa

	Brotas
Profundidade Relativa – Zr (%)	0,17
Vulnerabilidade	3

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As informações levantadas na bacia de contribuição estudada permitiram conhecer a atual condição sanitária da área e avaliar a situação da qualidade da água do reservatório de Brotas.

Com uma concentração estimada de 0,08 mg/l de P, pode-se concluir que a barragem de Brotas está eutrofizada, uma vez que, segundo a Resolução CONAMA 357/05 a concentração máxima de fósforo total admissível em águas doces classe 2 não deve ultrapassar 0,03 mg/l em ambientes lênticos. No entanto, há necessidade de maiores levantamentos, especialmente de fontes não pontuais ou difusas, para que seja apurado com maior precisão o nível trófico do corpo d' água estudado.

Os resultados demonstram que Brotas apresenta a necessidade da adoção de medidas de saneamento profilático, ou seja, uma diminuição do aporte de matéria orgânica e nutrientes oriundos de fontes pontuais e que seja avaliado quantitativamente o custo-benefício de se investir

em obras de saneamento básico para garantir a melhoria da qualidade da água para o abastecimento público.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. (2005). *Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 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, e dá outras providências. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>> Acesso em 3 jun 2009.
- CHAPRA, S. C. (2008). *Surface Water-Quality Modeling*. Long Grove: Waveland Press.
- CONDEPE. (2007). *Domicílios particulares permanentes, por tipo de esgotamento sanitário*. Disponível em <http://www.bde.pe.gov.br/estruturacaogeral/conteudo_site.aspx> Acesso em 6 mar 2013.
- FIGUEIRÊDO, M. C. B. de; TEIXEIRA, A. S.; ARAÚJO, L. de F. P.; ROSA, M. F.; PAULINO, W. D.; MOTA, S.; ARAÚJO, J. C. (2007) *Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização*. Eng. Sanit. Ambient., Out./Dez. 2007, vol.12, nº.4, p.399-409. ISSN 1413-4152. Disponível em < <http://www.scielo.br/pdf/esa/v12n4/a06v12n4.pdf>> Acesso em 21 mai 2008.
- HELOU, G. C. N. (1997). *Modelos de Avaliação do Estado Trófico Aplicados ao Reservatório do Guarapiranga*. São Paulo: EPUSP.
- IBGE. (2010) *Censo Populacional*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 20 fev 2013.
- SCHÄFER, A. (1984). *Fundamentos de ecologia biogeografia das águas continentais*. Porto Alegre: Ed. da Universidade, UFRGS.
- SPERLING, M. V. (1995) *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Belo Horizonte: UFMG.