

Índice de estado trófico e a proveniência do fósforo e clorofila-a em diferentes estações do ano em uma microbacia Amazônica

A Microbacia Irurá encontra-se entre a porção noroeste e sudoeste da área urbana do município de Santarém/PA, possui um histórico de ocupação desordenada influenciada por diversos ciclos econômicos. Neste contexto, esta ocupação desordenada e acelerada, gera impactos significativos sobre os recursos hídricos. Uma forma de se avaliar os danos é através do cálculo o Índice de Estado Trófico (IET) para mensurar a qualidade da água, e discutir a proveniência do Fósforo e Clorofila-a em diferentes estações do ano. Desta forma foram realizadas duas campanhas amostrais, sendo uma na estação seca e outra na chuvosa em seis pontos ao longo do Igarapé. Para o cálculo do IET foram analisados Fósforo total (PTot) e clorofila-a nas seis amostras de água. Os resultados do IET nas duas campanhas de monitoramento, mostraram que no período seco as classes variaram de ultraoligotrófico a eutrófico e já no chuvoso, as classes variaram de oligotrófico a eutrófico. As concentrações de Fósforo Total no período chuvoso encontram-se em desconformidade com a resolução do CONAMA 357/2005 para a Classe II. Foi realizada uma correlação estatística entre a clorofila-a e o Fósforo Total, e durante o período seco, apresentou uma correlação positiva, sugerindo um aumento da exposição solar e aumento da atividade fotossintética. Tendo como proveniência o lançamento de efluentes dentro do corpo d'água, além de atividade de agricultura de subsistência, em algumas áreas. As concentrações de Clorofila-a encontram-se, que em todos os pontos, dentro dos padrões de qualidade para classe tipo II, em ambas as estações.

Palavras-chave: Eutrofização; Rios Urbanos; Oligotrófico; Mesotrófico.

Trophic state index and provenance of phosphorus and chlorophyll-a in different seasons of an Amazonian watershed

The Irurá watershed is located between the northwest and southwest of the urban area of the municipality of Santarém/PA, has a history of disordered occupation influenced by various economic cycles. In this context, this disorderly and accelerated occupation generates significant impacts on water resources. One way of assessing damage is by calculating the Trophic State Index (EIT) to measure water quality, and to discuss the provenance of Phosphorus and Chlorophyll at different seasons of the year. Thus, two sampling campaigns were carried out, one in the dry season and the other in the rainy season at six points along the Igarapé. To calculate the EIT, total phosphorus (PTot) and chlorophyll a were analyzed in the six water samples. The EIT results in the two monitoring campaigns showed that in the dry season the classes ranged from ultraoligotrophic to eutrophic and in the rainy season the classes ranged from oligotrophic to eutrophic. Total Phosphorus concentrations in the rainy season are not in accordance with CONAMA Resolution 357/2005 for Class II. A statistical correlation was performed between chlorophyll-a and Total Phosphorus, and during the dry period, it showed a positive correlation, suggesting an increase in sun exposure and an increase in photosynthetic activity. As a source of effluent discharge into the body of water, as well as subsistence farming activity in some areas. Chlorophyll-a concentrations are found, at all points, within class II quality standards, in both seasons.

Keywords: Eutrophication; Urban Rivers; Irurá; Oligotrophic; Mesotrophic.

Topic: Engenharia de Recursos Hídricos

Received: 12/08/2019

Approved: 27/09/2019

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Danilo Costa Pinheiro 

Universidade Federal do Oeste do Pará, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5865423313140975>
<http://orcid.org/0000-0001-8523-2369>
danilo.pinheirogeo@gmail.com

Edinelson Correa Saldanha 

Universidade da Amazônia, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0344768485868201>
<http://orcid.org/0000-0002-4162-4296>
edinelson_saldanha@hotmail.com

Christiane do Nascimento Monte 

Universidade Federal do Oeste do Pará, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6178162183692365>
<http://orcid.org/0000-0003-4840-7777>
christiane.monte@yahoo.com.br



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2019.005.0009

Referencing this:

PINHEIRO, D. C.; SALDANHA, E. C.; MONTE, C. N.. Índice de estado trófico e a proveniência do fósforo e clorofila-a em diferentes estações do ano em uma microbacia Amazônica. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.10, n.5, p.89-100, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.005.0009>

INTRODUÇÃO

A problemática ambiental dos centros urbanos é um tema bastante discutido atualmente, principalmente, pois são nestas áreas que ocorrem as maiores concentrações populacionais e estas demandam de grandes quantidades de consumo de recursos naturais, proporcionando uma apropriação inadequada destes recursos ocasionando a degradação ambiental, afetando diretamente a qualidade de vida destas pessoas. Assim, dentre as principais alterações introduzidas no espaço alterado por atividades antrópicas, as mais comuns são a retirada da cobertura vegetal, alteração nas formas topográficas, aumento de escoamento superficial, acúmulo de resíduos sólidos e a poluição hídrica.

A disponibilidade da água é um tema debatido no mundo todo, no qual essa discussão passa por uma avaliação quantitativa de disponibilidade hídrica, bem como, pela qualidade da água disponível para os diferentes usos possíveis, como recreação, pesca, irrigação, geração de energia e abastecimento público. A poluição das águas é, principalmente, fruto de atividades humanas, nos quais os poluentes lançados alcançam águas superficiais e subterrâneas de forma pontual e difusa. O que justifica a crescente preocupação com a necessidade de se avaliar e monitorar alterações ambientais e seus efeitos sobre os recursos hídricos (MIRANDA et al., 2009).

A cidade de Santarém teve seu crescimento impulsionado por políticas de interiorização dos grandes projetos de desenvolvimento local, incentivado pelo governo federal em meados do século XX (CPRM, 2013). Segundo Ramos (2004), o crescimento do município ocorreu de forma desordenada com expansão da malha urbana para locais sem infraestrutura, configurando um processo de periferização, em que causa diversos problemas nos aspectos físicos e naturais, tais como inundações, desaparecimento de peixes regionais, aumento da urbanização em áreas alagáveis, enchentes acima do normal, lançamento significativo de substâncias poluidoras de origem domésticas, industriais e de escoamento difuso (a maioria sem tratamento), o que pode causar inúmeros problemas, como a eutrofização.

De acordo com Esteves (2011), a eutrofização pode ser definida como o acréscimo de nutrientes, como fósforo e nitrogênio em um determinado ecossistema aquático e tem como consequência o aumento da produtividade nos mais variados compartimentos de seu sistema e alterações diversas no seu funcionamento. Segundo os mesmos autores, esse fenômeno pode ser: 1) natural, quando ocorre de forma lenta e contínua, como resultado de nutrientes trazidos pelas chuvas e pelas águas superficiais que erodem a superfície; e 2) artificial/cultural/antrópica, quando ocorre de forma induzida pelo homem e que pode ter diferentes origens, tais como esgotos domésticos, efluentes industriais e atividades agrícolas.

A aplicação do Índice de Estado Trófico é uma ferramenta para avaliar a qualidade da água, classificando o corpo hídrico em diferentes tróficos, de acordo com o aporte de nutrientes no corpo receptor, provocando o crescimento de macrófitas e algas (CETESB, 2009; ALVES et al., 2012; ABREU et al., 2017). Lamparelli (2004) defende que os ambientes podem sofrer uma aceleração do processo de eutrofização causado por atividades antrópicas e que pode ser observado em uma escala de tempo mais curta, diferentemente do processo de eutrofização natural (que pode ocorrer em décadas). Assim, o IET funciona

como um registro de atividades humanas nas bacias hidrográficas que auxiliam na formação de planos de manejo e gestão de ecossistemas aquáticos através de estratégias que visam a sustentabilidade dos recursos hídricos (FIA et al., 2009). Atualmente, o mais utilizado é o índice elaborado por Carlson (1977) e modificado para ambientes tropicais por Lamparelli (2004), em que é possível realizar o cálculo do IET dos rios e reservatórios utilizando as variáveis: Clorofila-*a* e Fósforo Total. Neste contexto, o estudo tem objetivo de calcular o IET Microbacia do Irurá (MBI) e discutir a proveniência de Fósforo Total e Clorofila-*a* sob a influência da sazonalidade, aplicando testes estatísticos.

METODOLOGIA

A microbacia Irurá é representada principalmente pelo igarapé do Irurá (Figura 1) que tem sua principal nascente próxima à cachoeira da Rocha Negra, percorre uma área localizada na margem direita da BR 163 (Santarém-Cuiabá) até desembocar no rio Tapajós. De acordo com Silva et al. (2017), a microbacia do Irurá tem uma área total de 31,01 km², com largura média de 5,19 km e comprimento do canal principal de 10,74 km. Sendo uma das microbacias mais afetadas pela urbanização na cidade de Santarém (SANTOS, 2017).

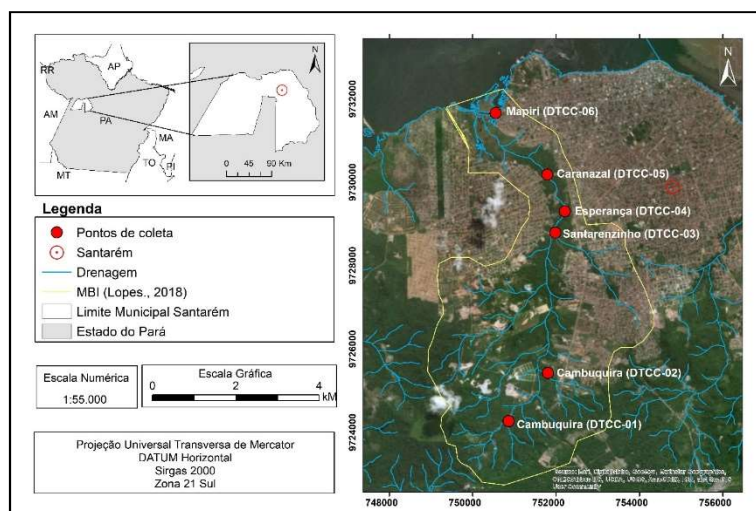


Figura 1: Mapa de localização e acesso da Microbacia Irurá na cidade de Santarém, Pará.

A amostragem foi dividida em duas campanhas, sendo a primeira em novembro de 2018 (período seco) e a segunda em janeiro de 2019 (período chuvoso). Foram coletados 6 pontos (Figura 1), os quais foram divididos entre a proximidade à nascente até a foz no rio Tapajós, percorrendo alguns bairros em expansão na cidade.

Os parâmetros físico-químicos, como temperatura, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido foram determinados *in situ* com o auxílio da sonda multiparâmetro AKSO AK87. Em laboratório foram realizadas análises de turbidez, utilizando turbidímetro PoliControl AP 2000 e sólidos totais dissolvidos-STD (mg/L) com da sonda multiparâmetro

As análises de Fósforo Total (mg/L) seguiram o método de Redução com Ácido Ascórbico com leitura em espectrofotômetro e as análises de Clorofila-*a* (µg/L) foram realizadas através do Método Tricromático, acetona 90%, seguindo as normas descritas no Standard Methods for the Examination of Water and

Wastewater (2005).

O Índice do Estado Trófico apresentado e utilizado no cálculo do IET, é composto pelo Índice do Estado Trófico para o fósforo – IET (PT) e o Índice do Estado Trófico para a Clorofila-a – IET (CL), de acordo com as modificações de Lamparelli (2004), sendo estabelecidos para ambientes lóticos, segundo as equações para rios:

$$IET (PT) = 10 \left[6 - \left(\frac{0,42 - 0,36 \ln(PT)}{\ln 2} \right) \right] - 20 \quad (1)$$

$$IET (CL) = 10 \left[6 - \left(\frac{-0,7 - 0,6 \ln(CL)}{\ln 2} \right) \right] - 20 \quad (2)$$

Onde:

PT: concentração de fósforo total medida à superfície da água, em $\mu\text{g/L}^{-1}$;

CL: concentração de Clorofila-a medida à superfície da água, em $\mu\text{g/L}^{-1}$;

ln: logaritmo natural (neperiano).

O resultado dos valores mensais apresentados nas tabelas do IET será a média aritmética simples, com arredondamento da primeira casa decimal, dos índices relativos ao fósforo total e a Clorofila-a, segundo a equação:

$$IET = \left[\frac{IET(P) + IET(CL)}{2} \right] \quad (3)$$

Para classificação do índice de estado trófico, Lamparelli (2004) utilizou a tabela com a equivalência de medidas de fósforo total (PT), Clorofila-a (CL) e transparência em rios demonstrada na Tabela 1.

Tabela 1: Limites para diferentes níveis de estado trófico segundo o sistema de classificação proposto por Lamparelli (2004).

Critério	Estado Trófico	Transparência (m)	Fósforo Total ($\mu\text{g/L}^{-1}$)	Clorofila-a ($\mu\text{g/L}^{-1}$)
$IET \leq 47$	Ultraoligotrófico	$\geq 2,4$	$\leq 0,013$	$\leq 0,74$
$47 < IET \leq 52$	Oligotrófico	$2,4 - 1,7$	$0,012 - 0,035$	$0,74 - 1,31$
$52 < IET \leq 59$	Mestotrófico	$1,7 - 1,1$	$0,035 - 0,137$	$1,31 - 2,96$
$59 < IET \leq 63$	Eutrófico	$1,1 - 0,8$	$0,137 - 0,296$	$2,96 - 4,70$
$63 < IET \leq 67$	Supereutrófico	$0,8 - 0,6$	$0,296 - 0,640$	$4,70 - 7,46$
< 67	Hipereutrófico	$< 0,6$	$> 0,640$	$> 7,46$

Fonte: Lamparelli (2004).

Em todos os métodos aplicou-se o software estatístico Statistic Trial version 13.5.0.17. Devido à normalidade dos dados (SHAPIRO- WILK) foi aplicado teste de correlação de Pearson ($p < 0,05$) entre os dados de Clorofila-a e do Fósforo Total e para a proveniência da Clorofila-a e do Fósforo Total, foi utilizado o Teste-T ($p < 0,05$).

RESULTADOS

Parâmetros físico químicos

Os parâmetros físico-químicos da primeira campanha (período de seca) foram descritos na (Tabela 2). Em relação ao parâmetro temperatura, o maior valor foi de $31,6^{\circ}\text{C}$ no ponto DTCC-06 (foz do Irurá), fato que pode ser justificado pela ausência de mata ciliar para manter boas condições de temperatura neste ponto em relação aos demais (como pode ser observado na Figura 1, assim como o horário de alta incidência de luz solar sobre o corpo hídrico no momento que este parâmetro foi aferido haja vista que, de acordo com Lima (1989), citado por Lima (2010), o sombreamento de matas ciliares intercepta e absorve a radiação solar,

contribuindo assim para a estabilidade da temperatura nos corpos d'água.

As baixas concentrações de oxigênio dissolvido (OD) encontradas indicam entradas de carga orgânica, provavelmente oriundas de efluentes domésticos e/ou escoamento superficial da bacia de drenagem, fato também corroborado pelos valores de turbidez elevados observados nos pontos DTCC-04 e DTCC-05 (Figura 16-A e 16-B), outro aspecto importante é a presença de macrófitas aquáticas abundantes, as quais também influenciam na diminuição da concentração de O.D., haja vista que ocorre a redução do teor de oxigênio dissolvido no corpo hídrico por conta do aumento considerável de matéria orgânica produzida quando as macrófitas atingem altas densidades. Esta matéria orgânica é consumida por microrganismos decompositores, capazes de consumir grande quantidade de oxigênio dissolvido.

Entretanto, segundo Rodrigues et al. (2015), além da entrada de esgotamento doméstico, a região Amazônica, é comum valores menores de OD por conta da elevada concentração de matéria orgânica dissolvida e particulada que, no entanto, não afetam a vida aquática e as condições de uso na região. Os valores de pH indicam que em todos os pontos as águas apresentam característica ácida (média de valor de pH dos pontos coletados de 5,11), fato bastante comum na porção Amazônica localizada no estado do Pará (AGUIAR et al., 2015). Entretanto, pode-se observar um aumento gradual de valores deste parâmetro em direção a um caráter mais neutro, conforme as coletas aproximavam-se do desemboque do igarapé no rio Tapajós, que pode ser explicado pelo aumento progressivo de descarga de efluentes domésticos das moradias na porção em que o igarapé está em contato com a área urbana de Santarém (Pontos DTCC-03 ao DTCC-06) (SANTOS, 2017).

Nesses efluentes há a formação de amônia a partir da decomposição da matéria orgânica dos esgotos, os quais tendem a ocasionar o aumento do pH. Além disso, existem substâncias de caráter básico presente nos efluentes domésticos, como os detergentes que também podem contribuir para o aumento do pH (SOUSA et al., 2018). O aumento gradual do pH em direção a um caráter mais neutro pode ainda ser explicado por fatores como o aumento da concentração do fósforo e de Nitrogênio amoniacal, que pode acarretar alteração no pH (AGUIAR et al., 2014) e a influência exercida pelo rio Tapajós (pH variando de 6,6 e 7,8) (MIRANDA et al., 2009).

A condutividade elétrica foi maior no ponto DTCC 05 (Tabela 2), pois neste ponto há uma saída de esgoto, o que pode contribuir. Gasparotto (2011), afirma que valores de C.E. inferiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ são usualmente encontrados em águas naturais podendo atingir 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em corpos d'água receptoras de elevadas cargas de efluentes industriais e domésticos. Desta forma, o valor de C.E. identificado no ponto DTCC-05, durante o período de seca, apresentou-se dentro do valor defendido por Gasparotto (2011), sendo 108,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicando que neste ponto pode apresentar contaminação por efluentes domésticos. Durante a campanha realizada no período de chuva, este ponto apesar de apresentar valor de Condutividade Elétrica menor que 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, apresentou o maior valor quando comparado aos demais pontos e que pode ser explicado pela elevada concentração de argilas presentes na Formação Alter do Chão que são lixiviadas para dentro do corpo d'água (MENDES et al., 2012; ALVES, 2016).

Tabela 2: Parâmetros físico-químicos do igarapé do Irurá no período de seca.

Parâmetros	Período Seca						
	Pontos						
	DTCC-01	DTCC-02	DTCC-03	DTCC-04	DTCC-05	DTCC-06	DTCC-01
Temperatura (°C)	27,2	27,2	28,5	28,5	28,8	31,6	27,2
pH	5,2	5,2	5,3	5,9	6,2	6,4	5,2
Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	15,6	13,6	39,4	51,4	108,4	73,4	15,6
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	3	1,6	2,7	2,8	2,1	3	3
Sólidos Totais Dissolvidos – STD (mg/L)	6,4	8,3	10,6	22,8	30,3	42,6	6,4
Turbidez (ntu)	2,47	2,72	2,98	8,95	5,56	15,4	2,47

Os parâmetros físico-químicos na segunda campanha (período chuvoso) estão apresentados na tabela 3. A temperatura foi menor em todos os pontos em relação ao período de seca, como esperado para a estação, estando de acordo com outros estudos feitos na região (SILVA et al., 2017; SANTOS, 2017). Os valores de pH não tiveram modificações significativas entre a primeira e a segunda campanha, apresentando um padrão oscilatório entre os pontos, entretanto os 3 últimos pontos apresentaram um caráter mais neutro, que pode ser explicado pela entrada do rio Tapajós, o qual nesta época do ano está em processo de enchente, afogando a foz do Igarapé e exercendo forte influência em seu corpo d'água, como Miranda et al. (2009) descrevem em estudos realizados no rio Tapajós em Santarém, encontrando valores de pH entre 6,6 e 7,8. A condutividade elétrica foi menor em relação à primeira campanha, o que pode estar relacionado ao efeito de diluição exercido pelo maior aporte de chuvas na região.

Tabela 3: Parâmetros físico-químicos do igarapé do Irurá no período de seca.

Parâmetros	Período Chuva					
	Pontos					
	DTCC-01	DTCC-02	DTCC-03	DTCC-04	DTCC-05	DTCC-06
Temperatura (°C)	25,7	26,3	26,5	26,8	27,1	29,8
pH	5,1	4,9	5,7	6,5	6,7	6,6
Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	13,6	23,6	18,4	56,1	80,7	42,2
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	2,8	2,0	2,6	2,7	1,9	2,9
Saturação (%)	34,2	24,2	32,8	34,6	23,8	39,5
Sólidos Totais Dissolvidos – STD (mg/L)	5	6	9	28	40	20
Turbidez (ntu)	26,7	27,2	23,8	103	245	8

Clorofila- α e Fósforo

No período seco, as concentrações de fósforo total (PTot) variaram entre 0,3 a 1,5 mg/L (Tabela 4). As maiores concentrações nesse período podem ser justificadas pela ressuspensão do fósforo, que de acordo com Veiga (2010), pode ocorrer, devido à ação dos ventos associadas à baixa profundidade do corpo d'água gerando turbulência na água bem como o fator de diluição, que de acordo com Aguiar et al. (2014) é menor durante o período seco.

Na estação chuvosa, em todos os pontos, os valores de Ptot apresentaram-se maiores que 0,1 mg/L, valor este recomendado pela CONAMA 357/2005 para classe II de corpos d'água em ambientes lóticos, chegando a apresentar o maior valor no ponto DTCC-05, de 0,5 mg/L. Este aumento pode ser explicado pelo incremento nas concentrações de fósforo na estação chuvosa, pois ocorre acréscimo do escoamento superficial da água, o qual pode carregar para dentro do corpo d'água nutrientes provenientes de esgotos, fertilizantes de jardins e folhas na área urbana e proveniente do manejo agrícola e o uso de fertilizantes nas áreas rurais (VEIGA, 2010). Alguns estudos atribuem as maiores concentrações de fósforo na estação chuvosa

à maior quantidade de sedimentos em suspensão, devido ao maior escoamento superficial (QUINTON et al., 2001; JARVIE et al., 2005; SOUSA et al., 2018).

As concentrações de Clorofila-*a* durante o período de seca variaram entre 0,3 a 4,5µg/L. As menores concentrações foram registradas nos pontos DTCC-01 e DTCC-03 e podem ser justificadas pela baixa exposição do corpo d'água à luminosidade, reduzindo assim a atividade de produção primária de algas (LUZIA, 2009), pois nesses pontos, a mata ciliar encontra-se preservada fornecendo sombra ao igarapé.

Tabela 4: Clorofila-*a* e Fósforo Total do igarapé do Irurá no período de seca.

	DTCC-01	DTCC-02	DTCC-03	DTCC-04	DTCC-05	DTCC-06
Período de Seca						
Clorofila- <i>a</i> (µg/L)	0,27	2,40	0,27	2,14	1,60	4,53
Fósforo Total (mg/L)	0,06	0,09	0,05	0,11	0,03	0,15
Período de Chuva						
Clorofila- <i>a</i> (µg/L)	0,27	2,53	0,80	2,40	1,87	4,01
Fósforo Total (mg/L)	0,18	0,15	0,31	0,35	0,51	0,34

Aguiar et al. (2014), ao estudar o estado trófico de bacias hidrográficas, que sofrem a influência da agricultura de soja na cidade de Santarém e Belterra, identificou valores de Clorofila-*a* variando entre 0,47 a 47,84 µg/L⁻¹ durante o período de seca e 0,13 a 28,57 µg/L⁻¹ durante o período chuvoso. Os autores concluíram que a principal razão das maiores concentrações está ligada à retirada da mata ciliar ao longo da microbacia, o que reduz a cobertura florestal, aumentando a exposição solar, aliada à contribuição do fósforo proveniente das atividades agrícolas presentes na região.

Análise estatística do Fósforo Total e da Clorofila-a

As análises estatísticas realizadas através do teste de Shapiro-Wilk para testar a normalidade das variáveis Fósforo Total nos dois períodos, permitiu concluir que estas são normais e, portanto, paramétricas para o período seco (Shapiro-W= 0,96461; p=0,85445>0,05; n=6) e para o período chuvoso (Shapiro-W= 0,93524; p=0,62111>0,05; n=6).

As análises estatísticas realizadas através do teste-T para testar se a fonte de proveniência do nutriente Fósforo Total era a mesma em situações diferentes (períodos seco e chuvoso) nos seis pontos do Igarapé do Irurá, indicam que as fontes de fósforo total são diferentes quando comparados entre período seco e chuvoso (t=-3,78611; p=0,012809, p<0,05; n=6), mostrando que as fontes são diferentes entre as estações.

De acordo com as análises estatísticas referentes ao P_{tot} realizadas por Aguiar et al. (2014) na cidade de Santarém e Belterra, separadas por regiões isoladas, a concentração de nutrientes apresentou influência pela temporalidade com maior aporte durante a estação chuvosa. Aguiar et al. (2015) discutem que a duração e a intensidade da estação chuvosa incrementam as concentrações de fósforo através do escoamento superficial da água, por influência do aumento do nível de sedimentos em suspensão e que as fontes pontuais deste nutriente são as regiões de cultura mecanizada e de agricultura familiar. A pluviosidade interfere diretamente no aporte de P_{tot} para a MBI, levando sedimentos das ruas sem asfaltos dos bairros que fazem parte da microbacia, nutrientes vindo de áreas agricultáveis e esgotos das fossas das casas, as

quais, algumas transbordam nesse período, conforme afirma Veiga (2010).

No que se refere as análises estatísticas realizadas através do teste de Shapiro-Wilk para testar a normalidade das variáveis Clorofila-*a* nos dois períodos, permitiram concluir que estas são normais e, portanto, paramétricas para o período seco (Shapiro-W= 0,90837; $p=0,425765>0,05$; $n=6$) e para o período chuvoso (Shapiro-W= 0,96621; $p=0,86604>0,05$; $n=6$).

As análises realizadas através do teste-T para amostras dependentes afim de identificar se a fonte de proveniência de Clorofila-*a* nos períodos de amostragem são as mesmas em situações diferentes (período seco e chuvoso), indicam que as fontes deste não são diferentes quando comparados entre período seco e chuvoso ($t=-0,76173$; $p=0,48058$, $p <0,05$; $n=6$).

No que tange às análises de Clorofila-*a* realizadas por Aguiar et al. (2015), esta variável analisada isoladamente por região de coleta, a interação com a sazonalidade mostra-se significativa para apenas duas das cinco regiões estudadas pelos autores entre elas a microbacia do Mojú ($p=0,02015$) no período seco e microbacia da Curuá-Una ($p=0,01410$) no período chuvoso, indicando assim que nas demais microbacias não existem outras fontes de Clorofila-*a*. Os autores afirmam que a região do Mojú, assim como a região de Curuá-Una, são regiões onde estão presentes atividades com agricultura tradicional e com retirada da mata ripária ao longo da microbacia para facilitar o acesso e a exploração da água, gerando a redução da cobertura florestal do espelho d'água, aumentando sua exposição à luz solar e favorecendo a atividade fotossintética de algas durante o período de estiagem.

Devido à normalidade dos dados foi aplicada a correlação de Pearson entre o P_{tot} e a Clorofila-*a* nos dois períodos. No período chuvoso, não houve correlação significativa entre as duas variáveis, entretanto no período seco, a correlação foi positiva ($p= 0,838569$ $p<0,05$; $n=6$). A não correlação destas variáveis durante o período chuvoso, sugere que durante as chuvas ocorre um aumento do escoamento superficial e este, pode carrear para dentro do corpo d'água algas de outros pontos.

Wetzel (2003) e Lamparelli (2004) atentam para a importante contribuição alóctone desses microrganismos para os rios provenientes de sistemas secundários durante as chuvas, como lagoas marginais e várzeas, que apresentam uma velocidade reduzida de água e favorecem o crescimento de uma complexa comunidade planctônica. No período seco, a correlação positiva indica que a fósforo pode ser um nutriente para atividade primária de forma mais eficiente, pois neste período de acordo com Aguiar et al. (2015), há um aumento da exposição solar e por consequência, favorecendo o aumento da atividade fotossintética.

Índice de Estado Trófico

Na região Amazônica há poucos trabalhos na literatura sobre o Índice de Estado Trófico, principalmente, na região do Baixo Tapajós, contando apenas com dois artigos até o momento. Aguiar et al. (2014), calcularam o IET para 27 microbacias entre os municípios de Santarém e Belterra, e mostraram que o IET foi menor no período chuvoso, sendo classificadas como ultraoligotróficas, enquanto no período seco foram classificadas como oligotróficas. Essa variação foi atribuída a um processo natural de precipitação, infiltração e escoamento, intensificada pelos processos antrópicos, como agricultura e erosão. O segundo

trabalho na região foi de Sousa et al. (2018), realizado em quatro lagos no município de Santarém (PA), durante as estações seca e chuvosa. Em ambas as estações o IET foi classificado como ultraoligotrófico, sendo a média para a estação seca de 10 e para a estação chuvosa de 14.

Os cálculos realizados para a formulação do Índice de Estado Trófico, utilizando os parâmetros Fósforo Total e Clorofila-*a*, demonstram que o igarapé do Irurá apresenta 04 níveis de trofia, que variam de Ultraoligotrófico ao Eutrófico. Durante o período de seca (tabela 4) um ponto enquadra-se no grau de trofia Ultraoligotrófico, dois pontos se encontram no Oligotrófico, dois pontos se encontram no grau de trofia Mesotrófico e um ponto Eutrófico. No período chuvoso (Tabela 5), um ponto enquadra-se no grau de trofia Oligotrófico, dois no grau de trofia Mesotrófico e três dos pontos foram classificados como Eutrófico. Ao aplicar a média para ambas as estações, a MBI foi classificada como mesotrófica, com média de $53,8 \pm 5,4$ na estação seca e $57,6 \pm 4,8$ na estação chuvosa, que segundo a CETESB (2009), são corpos d'água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água em níveis aceitáveis na maioria dos casos.

Tabela 5: Índice de Estado Trófico na estação seca e chuvosa.

Pontos	Período Seco		IET	CLASSE TRÓFICA
	IET (PT) (µg/L)	IET (PT) (µg/L)		
DTCC-01	64,81	35,57	50,19	Oligotrófico
DTCC-02	59,17	54,58	56,88	Mesotrófico
DTCC-03	56,11	35,57	45,84	Ultraoligotrófico
DTCC-04	60,21	53,57	56,89	Mesotrófico
DTCC-05	53,46	51,07	52,27	Oligotrófico
DTCC-06	61,82	60,08	60,95	Eutrófico
MÉDIA	59,26 ±4	48,4 ±10,3	53,8 ±5,4	Mesotrófico
DTCC-01	62,77	35,57	49,17	Oligotrófico
DTCC-02	61,82	55,04	58,43	Mesotrófico
DTCC-03	65,59	45,07	55,34	Mesotrófico
DTCC-04	66,22	54,58	60,41	Eutrófico
DTCC-05	68,17	52,41	60,29	Eutrófico
DTCC-06	66,07	59,01	62,54	Eutrófico
MÉDIA	65,1±2,3	50,2±8,5	57,6±4,8	Mesotrófico

DISCUSSÃO

Análise da mudança de trofia

Os pontos (4,5 e 6) apresentaram maior trofia, e são aqueles que passam por bairros em expansão, que têm o maior aporte de esgoto doméstico no corpo hídrico. Parte do esgoto doméstico é composto pelo descarte de produtos de limpeza que contêm substâncias fosfatadas e aumentam a concentração do fósforo nos corpos hídricos urbanos (WETZEL, 1993; ESTEVES, 1998; SOUSA et al., 2018).

Foi observada mudança de trofia entre as estações, em alguns pontos, principalmente, aquele mais antropizados, variações vista também por Abreu et al. (2017), quando calcularam o IET para o rio Jari (Amapá) em duas estações. Essas mudanças podem ser explicadas pelo aumento da ocorrência das chuvas. De acordo com Veiga (2010), a presença de enxurradas provoca um aumento do escoamento superficial na bacia com maior aporte de fósforo de áreas agrícolas e urbanas, o que propicia o aparecimento de algas, pois serve como nutriente para esse tipo de microrganismos. Além disso, nos pontos onde ocorreram mudanças na

classe trófica, é possível observar uma diminuição na mata ciliar o que implica na redução da capacidade de infiltração e armazenamento de água no solo e propiciando aumento do escoamento superficial (VANZELA et al., 2010), além do maior aporte de fósforo.

Andrietti et al. (2016) calcularam o IET no rio Caiabi, na região Amazônica em Mato Grosso. Os autores escolheram cinco pontos nas estações seca e chuvosa, na estação seca a média foi de 22,2, e na estação chuvosa a média foi de 21,4, sendo classificado como ultraoligotrófico em ambas as estações. Os autores não encontraram influência da sazonalidade nos resultados, atribuindo a presença de mata ciliar como atenuador dos efeitos negativos do uso do solo na qualidade da água.

Alves et al. (2012) observaram que apenas um ponto sofreu alteração por influência da sazonalidade, variando de Hipereutrófico durante o período seco à Supereutrófico durante o período chuvoso. Os autores atribuem esta variação à influência de clorofila alóctone, haja vista que esta apresentou maior variação quando comparado aos valores de fósforo e afirmam que no Rio Arari na Ilha de Marajó, o processo de eutrofização dá-se de forma natural, pois as fontes de contaminação antrópicas ainda são incipientes, e atualmente, as fontes autóctones são mais relevantes para a contribuição de valores registrados.

CONAMA 357/05

A MBI ainda não foi enquadrada na CONAMA pelo órgão ambiental responsável, entretanto, devido ao uso se enquadraria em rios de classe 2. As concentrações de P_{tot} na estação seca não foram maiores que a norma, exceto os pontos DTCC 04 e DTCC 06, que excederam o limite determinado pela norma, que é de 0,1 mg/l para a classe 2 em ambientes lóticos (BRASIL, 2005). Os pontos estão em áreas altamente urbanizadas, que tem maior aporte de esgoto doméstico. Na estação chuvosa todos os pontos ultrapassaram a concentração estipulada pela normativa, e os três últimos pontos apresentaram as maiores concentrações.

As maiores concentrações de fósforo estão relacionadas ao aumento da produtividade primária, expressa pela clorofila-a, podendo acarretar mudanças na qualidade da água, desequilibrando o ecossistema aquático e interferindo na saúde humana (REYNOLDS, 2006; SOUSA et al., 2018). As concentrações de clorofila-a não excederam a norma (30 µg/l para classe 2) em nenhum dos pontos e em ambas as estações. A produtividade primária tem relação direta com a entrada de nutrientes de origem terrestres (MARTINI et al., 2006; LOPES, 2018). A redução nas concentrações de clorofila-a está relacionada na diminuição da luminosidade (BOARDMAN, 1977; SOUSA et al., 2018), entretanto apesar da turbidez aumentar em todos os pontos não foi suficiente para reduzir a luminosidade e diminuir as concentrações de clorofila no período chuvoso.

CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que houve uma tendência de aumento na estação chuvosa nas concentrações de fósforo total, de alguns parâmetros físico-químicos e da clorofila-a, o que não era esperado, devido à diminuição da luminosidade, entretanto o aumento da turbidez não foi suficiente para diminuir a produtividade primária. O aumento na concentração de clorofila-a, sugerindo o aumento da

concentração de outro nutriente, que não seja o fósforo, como foi visto estatisticamente.

Os resultados da aplicação do IET indicaram uma variação de classes entre os períodos seco e chuvoso, sendo que durante o período de menor pluviosidade as classes foram mais baixas na maioria dos pontos (predominantemente Ultraoligotrófico e Mesotrófico) e já no período de maior índice pluviométrico, a classe predominante foi a Eutrófica.

As análises de Fósforo Total mostraram que no período chuvoso todos os pontos estão acima da CONAMA 357/2005 para a Classe II. A análise estatística aponta que a proveniência deste parâmetro nos dois períodos é diferente e infere-se que este é resultante principalmente do lançamento de efluentes dentro do corpo d'água além de atividade de agricultura de subsistência dentro da área de estudo.

As análises de Clorofila-*a* realizadas no igarapé do Irurá no período de seca e no período chuvoso mostram que em todos os pontos os valores deste parâmetro se encontram dentro dos padrões de qualidade das águas da CONAMA 357/2005. A análise estatística aponta que a proveniência deste parâmetro nos dois períodos não é diferente e que há uma correlação desta com o parâmetro Fósforo Total durante o período seco pois neste período há um aumento da exposição solar e por consequência, o aumento da atividade fotossintética. A não correlação durante o período chuvoso é atribuído a fonte alóctone deste parâmetro provocado pelo aumento do escoamento superficial. Saliencia-se que é necessário o monitoramento do corpo hídrico, devido ao crescimento urbano e a falta de saneamento básico da região, que provoca maior aporte de esgoto doméstico para o corpo hídrico.

AGRADECIMENTOS: ao laboratório de Biologia Ambiental da Universidade Federal do Oeste do Pará, coordenado pelo professor Dr. José Reinaldo Peleja e os técnicos Flávia Cristina Carvalho de Lima e Edvaldo Junior de Souza Lemos pelas análises dos parâmetros físico químicos e ao Laboratório Tapajós Ambiental pelas análises dos nutrientes.

REFERÊNCIAS

ABREU, C. H. M.; CUNHA, A. C.. Qualidade da água e índice trófico em rio de ecossistema tropical sob impacto ambiental. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.22, n.1, p.45-56, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1413-41522016144803>

AGUIAR, C. P. O.; PELEJA, J. R. P.; SOUSA, K. N. S.; GOCH, Y. G.; GUIMARÃES, A. S.. Nível de trofia em microbacias hidrográficas sob diferentes usos de solo, na região amazônica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.20, n.4, p.1093-1102, 2015.

AGUIAR, C. P. O.; PELEJA, J. R. P.; SOUSA, K. N. S.. Qualidade da água em microbacias hidrográficas com agricultura nos municípios de Santarém e Belterra, Pará. **Revista Árvore**, v.38, n.6, 2014.

ALVES, L. S.. **Desenvolvimento de medidor de condutividade elétrica da água para fins de monitoramento ambiental**. Monografia (Graduação em Engenharia Física) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

ALVES, I. C.; EL-ROBRINI, M.; SANTOS, M. L. S.; MONTEIRO, S. M.; BARBOSA, L. P. F.; GUIMARÃES, J. T. F.. Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). **Acta Amazônica**, v.42, n.1, 2012.

ANDRIETTI, G.; FREIRE, R.; AMARAL, A. G.; ALMEIDA, F. T.; BONGIOVANI, M. C.; SCHNEIDER, R. M.. Índices de qualidade da água e de estado trófico do rio Caiabi, MT. **Revista Ambiente & Água**, v.11, n.1, 2016. DOI: <http://doi.org/10.4136/1980-993X>

BOARDMAN, N. K.. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. **Annual Review Plant Physiology**, v.28, p.355-377, 1977.

BRASIL. **Resolução CONAMA n.357**. Brasília: CONAMA, 2005.

CARLSON, R. E.. **A trophic state index for lakes**: Limnology and Oceanography. 1977.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.

Determinação de Clorofila a e Feofitina a: método espectrofotométrico. São Paulo: CETESB, 2009.

CPRM. Serviço Geológico Brasileiro. **Geodiversidade do estado do Pará.** Belém: CPRM, 2013.

ESTEVES, F. A.. **Fundamentos de Limnologia.** Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

ESTEVES, F.. **Fundamentos de limnologia.** 3 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

FIA, R.; MATOS, A. T.; CORADI, P. C.; RAMIREZ, O. P.. Estado trófico da água na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim, RS, Brasil. **Ambiente & Água**, v.4, n.1, 2009. DOI: <http://doi.org/10.4136/ambiagua78>

JARVIE, H. P.; NEAL, C.; WITHERS, P. J. A.. Sewage effluent phosphorus: a greater risk to river eutrophication than agricultural phosphorus?. **Science of the Total Environment**, v.360, p.246-253, 2005. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.08.038>

LAMPARELLI, M. C.. **Graus de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo:** avaliação dos métodos de monitoramento. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LOPES, C. C.. **Análise Das Alterações Morfodinâmicas Da Micro Bacia Do Irurá, Santarém/PA.** Monografia (Bacharelado em Geologia) - Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2018.

LUZIA, A. P.. **Estrutura organizacional do fitoplâncton nos sistemas lóticos e lênticos da bacia do Tietê-Jacaré (UGRH-Tietê-Jacaré) em relação à qualidade da água e estado trófico.** Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

MARTINI, L. C. P.; MATTOS, D. S.; BARBOSA, D. F. P.; RECH, A. I. B.. Uso de sensoriamento remoto orbital para avaliação da distribuição espacial de Clorofila_a na Lagoa da Conceição - Florianópolis, SC. **Engenharia Sanitária e ambiental**, v.11, n.4, p.318-324, 2006.

MENDES, A. C.; TRUCKENBROD, W.; NOGUEIRA, A. C. R.. Análise faciológica da Formação Alter do Chão (Cretáceo, Bacia do Amazonas), próximo à cidade de Óbidos, Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v.42, n.1, p.39-57, 2012. DOI: <http://doi.org/10.25249/0375-7536.20124213957>

MIRANDA, R. G.; PEREIRA, S. F. P.; ALVES, D. P. V.; OLIVEIRA, G. R. F.. Qualidade dos recursos hídricos da Amazônia-Rio Tapajós: avaliação de caso em relação aos elementos químicos e parâmetros físico-químicos. **Ambiente & Água**, v.4, n.2, p.75-92, 2009. DOI: <http://doi.org/10.4136/ambiagua.88>

QUINTON, J. N.; CATT, J. A.; HESS, T. M.. The selective removal of phosphorus from soil: Is event size important?. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.30, n.2, p.538-545, 2005. DOI: <http://doi.org/10.2134/jeq2001.302538x>

RAMOS, J. R. B.. **A Urbanização de Santarém e a Preservação Ambiental do Lago Mapiri: Um Estudo de Caso.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

REYNOLDS, C.. **Ecology of phytoplankton.** New York: Cambridge University Press, 2006.

SANTOS, G. P.. **Avaliação hidroambiental de seis igarapés no município de Santarém/PA.** Monografia (Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia das Águas) - Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2017.

SILVA, M. F.; OLIVEIRA, L. L.; MORTATI, A. F.. Integridade ambiental das nascentes de duas microbacias urbanas na Amazônia, Brasil. In: SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 13. **Anais.** Cidade do Porto, 2017.

SOUSA, B. L. M.; PELEJA, J. R. P.; SOUSA, B. L. M.; GOCH, Y. G. F.; RIBEIRO, J. S.; PEREIRA, B. S.; LIMA, F. C. C.; LEMOS, E. J. S.. Índice de Estado Trófico de Lagos de Águas Claras Associados ao Baixo Rio Tapajós, Amazônia, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.9, n.7, p.76-89, 2018. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.007.0008>

VANZELA, L.; HERNANDEZ, B. T.; FRANCO, R. A. M.. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v.14, n.1, 2010.

VEIGA, B. V.. **Fatores intervenientes na dinâmica do fósforo em ambientes lênticos-investigação sobre o Reservatório de Alagados no Estado do Paraná.** Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

WETZEL, R. G.. **Limnologia.** 2 ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1993.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenera Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.