

Comportamento espaço-temporal de variáveis limnológicas em área de proteção ambiental no ecossistema Amazônico

A expansão urbana atrelada a falta de ordenamento acarreta grandes impactos ao meio ambiente, sobretudo aos ambientes aquáticos. O presente estudo objetivou analisar o comportamento espaço-temporal de variáveis limnológicas e o Índice de Estado Trófico (IET) em dois ambientes lênticos do Parque Ecológico Municipal (PEM) Lagoas dos Buritis, em Ji-Paraná, Rondônia. Foram realizadas análises entre maio de 2016 e março de 2017, seguindo a sazonalidade da região com base na série histórica de vazão do rio Ji-Paraná, disponibilizada pela Agência Nacional de Águas. As variáveis limnológicas analisadas foram: temperatura, potencial Hidrogênionico, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, clorofila-a, nitrito e nitrogênio amoniacal. Foram realizadas análises multivariadas (Teste de normalidade de Shapiro-Wilk, teste paramétrico de Tukey, e teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis e Wilcoxon pareado) para possível investigação espaço-temporal do ambiente em estudo. Os resultados foram confrontados com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA nº 357/2005). Os resultados indicam que o ambiente aquático apresentou hipoxia, com valores médios de oxigênio dissolvido variando de 0,36 mg.L-1 a 2,48 mg.L-1, com susceptibilidade de ocorrência de floração de algas, com valor de clorofila-a de até 27,7 µg.L-1, estando ambas as variáveis em desacordo com os parâmetros do CONAMA nº 357/05. As classes do IET variaram de mesotrófico à supereutrófico. Tais resultados evidenciaram que as lagoas do PEM de Ji-Paraná estão sendo impactadas pela atividade urbana de suas imediações.

Palavras-chave: Limnologia; Impactos Ambientais; Gestão de Recursos Hídricos.

Space-temporal behavior of limnological variables on the environmental protection area in the Amazon ecosystem

The urban expansion connected to the disorder entailed big impacts to the environment, especially on aquatic environments. This study aimed to analyze the space-time behavior of the limnological variables and the Trophic State Index (TSI) in lentic environments inserted in the Municipal Ecological Park (MEP) Lagoa dos Buritis from Ji-Paraná, in the state of Rondônia. The analyses were carried out between May 2016 and March 2017, following the region seasonality based on historical water flow data from Ji-Paraná river, available from National Water Agency. The limnological variables analyzed were: temperature, potential of hydrogen, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, chlorophyll-a, nitrite and ammonia nitrogen. Multivariate analyses were performed (Shapiro-Wilk test for normality, parametric Tukey test, and nonparametric Kruskal-Wallis and Wilcoxon tests) in order to investigate the characteristics related to space and time from the study environment. The results were evaluated in relation to the Resolution of the Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005. The results indicate an aquatic environment with hypoxia, with average dissolved oxygen values varying from 0,36 mg.L-1 to 2,48 mg.L-1, susceptible to algae bloom due to values from chlorophyll-a up to 27,7 µg.L-1, both are in disagreement to CONAMA nº 357/05. These results evidence the urban activity impact on the MEP lagoons in Ji-Paraná.

Keywords: Limnology; Environmental Impacts; Water Resources Management.

Topic: **Engenharia Ambiental**

Received: **12/08/2019**

Approved: **27/09/2019**


Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Guilherme Bessa Bianchi 

Universidade Federal de Rondônia, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5569368825996261>
<http://orcid.org/0000-0001-5683-8089>
nicolydalsanto@gmail.com

Nicolý Dal Santo Svierzoski 

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7503029261419766>
<http://orcid.org/0000-0002-2144-2292>
nicolydalsanto@gmail.com

Nara Luísa Reis de Andrade 

Universidade Federal de Rondônia, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1976520958836915>
<http://orcid.org/0000-0001-8602-6161>
naraluisar@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2019.005.0013

Referencing this:

BIANCHI, G. B.; SVIERZOSKI, N. D. S.; ANDRADE, N. L. R..
Comportamento espaço-temporal de variáveis limnológicas em área de proteção ambiental no ecossistema Amazônico. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.10, n.5, p.140-153, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.005.0013>

INTRODUÇÃO

A preservação de áreas ambientais é essencial para a manutenção ecológica de um ambiente equilibrado, bem como para assegurar a conservação de ambientes frágeis e a sadia qualidade de vida, conforme estabelece o Artigo 225 da Constituição da República Federativa do Brasil (BRASIL, 1988). A manutenção ecológica é também definida como serviços ambientais que, segundo Martinez et al. (2017) são serviços naturais úteis para o bem estar humano como: a regularização de gases, conservação da biodiversidade, proteção de solos, regularização de funções hídricas entre outros.

Porém, o adensamento populacional circunvizinho às áreas de preservação ambiental em áreas urbanas implica em alterações na qualidade ambiental e estrutural. Deste modo, o processo de construção dos espaços urbanos próximos às áreas protegidas compromete principalmente o sistema hídrico devido à supressão das áreas marginais aos corpos d'água e impermeabilização (COELHO FILHO et al., 2017). Complementarmente, Freitas et al. (2013) mencionam que os tipos mais comuns de APP's estão localizados próximos a cursos d'água, represas, lagos naturais, ao redor de nascentes, em topos de morros e em declividades maiores que 45°.

Neste sentido, a área do Parque Ecológico Municipal (PEM) de Ji-Paraná, que apresenta influências do transbordo do rio Machado e alagamento pelo tributário igarapé Riachuelo, também apresenta influências de pressões antrópicas intensificadas desde 1960, por estar às margens da rodovia BR-364 (IBGE, 2017). Desta feita, reconhecendo a importância ecológica e ambiental da área, os elementos de investigação dos efeitos da urbanização e alterações antrópicas serão os níveis de concentração de nutrientes presentes nestes sistemas hídricos, apontado pelo Índice de Estado Trófico – IET, e variáveis físicas e químicas (TORRES-FRANCO et al., 2018; CUTRIM et al., 2019). Assim, o objetivo do presente estudo foi determinar o IET e caracterizar a qualidade da água por meio de variáveis limnológicas de lagoas localizadas no PEM de Ji-Paraná.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

Localizada no município de Ji-Paraná/RO, a área de estudo constitui-se em uma unidade de uso sustentável (Lei Federal Nº 9.985/2000), sendo categorizada como Área de Proteção Ambiental – APA, pelo Decreto 6419/2002, e denominada Parque Ecológico Municipal de Ji-Paraná (PEM) Lagoa dos Buritis, criado pela Lei Municipal Nº 1.091/2001 com introdução de modificação de área pela Lei Municipal Nº 2.759/2014.

O Decreto Municipal Nº 1.969/2013 (Lei dos buritizais), intenta efetuar a proteção da flora do parque. O aglomerado a espécie *Mauritia flexuosa*, de grande incidência na área, é caracterizado como buritizais sendo estas áreas consideradas de relevante interesse ecológico pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação, Lei Nº 9.985/2000 (BRASIL, 2000). O PEM possui uma área total de 46,488 ha e está localizado parcialmente na microbacia hidrográfica do igarapé Riachuelo, segundo distrito do município de Ji-Paraná (Figura 1).

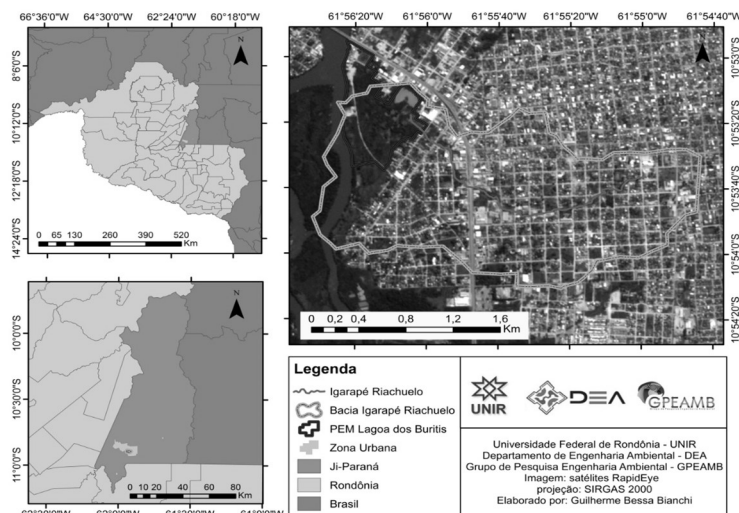


Figura 1: Mapa de Localização do Parque Ecológico Municipal de Ji-Paraná Lagoa dos Buritis.

O PEM tem por finalidade, segundo o artigo 3º da Lei Municipal Nº 1.091/2001, a preservação da fauna, flora e a beleza natural do ambiente, sendo uma área de inundação influenciada por duas teorias ecológicas de sistema lótico: a de pulsos de inundação, e de descontinuidade serial. O parque possui duas lagoas, sendo uma maior e natural, alimentada pelo igarapé Riachuelo e que tem como exutório o rio Machado, e outra de menor tamanho, criada a partir do represamento de uma área alagada, criado em seu contorno uma pista de caminhada, sendo que esta lagoa não possui ligação direta com o rio Machado. A região no entorno do parque é composta por áreas residenciais, empresas com alto potencial poluidor, a BR-364, e o rio Machado.

Foram selecionados seis pontos de monitoramento para coleta de amostras de água em cada lagoa por meio de amostragem não probabilística, escolhidos por conveniência, de forma que representasse ao máximo a área das lagoas. As campanhas aconteceram de forma a abranger as variações sazonais delimitadas pelo fluxo de vazante e enchente do Rio Machado, definido por meio da série histórica da estação 15560000 Ji-Paraná, do sistema de monitoramento hidrológico da Agência Nacional de Águas (ANA). Foram realizadas quatro campanhas entre maio de 2016 e março de 2017, adotando a divisão períodos sazonais, para acompanhar o volume de água das lagoas, dado que o transbordo do Rio Machado é um dos fatores que garante a manutenção do sistema alagadiço.

Complementarmente, Webler et al. (2013) reforçam a relação da dinâmica hidrológica com a dinâmica climática ao definir o período úmido característico de janeiro à março, úmido-seco de abril a junho, seco de julho a setembro e seco-úmido de outubro a dezembro. Para a aquisição das amostras foi necessário o uso de barco a remo na lagoa 01 com propósito de alcançar os pontos mais internos da lagoa, zona limnética. Para as coletas na lagoa 02 foi necessário o uso de uma haste com um coletor acoplado para coleta próxima as margens, que compreende a zona litorânea, pois a condensação de macrófitas aquáticas existente na lagoa impossibilitou a navegação.

Para cada campanha foram utilizadas 12 garrafas de água mineral de 500 mL, sendo 1 recipiente para cada ponto. A água mineral era despejada no momento da coleta, e após o envase, cada garrafa era numerada, envolvida com papel alumínio e acondicionadas em caixa térmica com gelo, para posterior análise

das variáveis: clorofila-*a*, nitrogênio amoniacal e nitrito.

Também, foram utilizados 24 frascos de vidros com rolhas de encaixe esmerilhado, sendo envasado dois frascos por ponto para as análises de OD e DBO. Em um dos frascos eram inseridos os reagentes para fixação do oxigênio (0,25mL de sulfato manganoso e 0,25mL de azeda sódica), os frascos eram enumerados, identificados para análise imediata ou para a incubação da análise de DBO₅²⁰; e acondicionados em caixa com proteção aos raios de luz.

Análise das variáveis

As variáveis físicas e químicas analisadas foram: Temperatura da água, pH, Nitrogênio Amoniacal, Nitrito, Oxigênio Dissolvido – OD, Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO₅²⁰ e clorofila-*a*. As análises de nitrogênio amoniacal, Nitrito, OD e DBO seguiram a padronização proposta pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005), sendo realizadas nos Laboratório de Limnologia e Microbiologia (LABLIM) e no Laboratório de Hidrogeoquímica, da Universidade Federal de Rondônia (UNIR) campus de Ji-Paraná. As medições de temperatura e pH se deram *in loco* por meio de sonda, sendo que na lagoa 1 foi por meio de sondagem diretamente na coluna d'água nos pontos de coleta, e na lagoa 2, através da inserção da sonda no recipiente coletor de amostras.

Houve uma mudança de metodologia para as análises de OD e realização da análise de DBO a partir da segunda campanha de coleta, devido excesso de carga orgânica presente na lagoa 02. Desta forma, na primeira coleta a análise de OD foi realizada *in loco* por meio de sonda e a partir da segunda campanha passou a ser realizado pelo método título métrico da APHA (2005).

Para a análise da clorofila-*a*, foi utilizada uma metodologia adaptada do Protocolo de Monitorização e Processamento Laboratorial da Agência Portuguesa do Ambiente (2009) e por Pereira (2011), segundo Pinto (2015). Na extração de pigmentos da clorofila, foram filtrados 300 mL das amostras em filtro de microfibras de vidro, com porosidade de 0,7µm. Os filtros permaneceram envolvidos em papel alumínio e congelados até a realização das análises.

O procedimento das análises de clorofila-*a* se deu por meio de etanol quente, onde foram aquecidos (banho Maria à 75 °C por 5 minutos) recipientes individuais com as membranas contendo o material filtrado e 5mL de etanol 95%. Após o aquecimento, os tubos foram inseridos em água fria para realizar o choque térmico e então mantidas por 6 horas na geladeira ao abrigo de luz, após este período o material foi centrifugado na velocidade de 3000 rpm por 20 minutos. No espectrofotômetro, o sobrenadante foi lido em absorbância nos comprimentos de ondas 664 e 750nm, posterior as leituras era adicionado 0,1 mL de HCl com concentração de 1 mol para cada mL de amostra, deixado descansar por 5 minutos e então refeita as leituras nos mesmos comprimentos de onda. Posteriormente, a concentração de clorofila-*a* foi determinada de acordo com a Equação 1.

$$CL(\mu\text{g.L}^{-1}) = \frac{11,4 \times K \times [(A_{664} - A_{750}) - (A_{664a} - A_{664a})]}{\frac{V}{V \times L}} \quad (1)$$

Onde: CL é a concentração de clorofila-*a*, K é o fator destinado a estabelecer a concentração inicial em clorofila-*a* a partir da redução da absorbância, cujo valor adotado foi de 2,25; v é o volume de etanol usado na extração (mL); V é o

volume de água filtrado (L) e L é o passo óptico da cubeta utilizada na leitura (cm) (APA, 2009).

O IET foi determinado segundo a equação de Lamparelli (2004) para ambientes lênticos (Equação 2) e categorizado de acordo com as classes estipuladas pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2014), descritas na Tabela 1.

$$IET(CL) = 10 \times \left(6 - \left(\frac{0,92 - 0,34 \times (\ln CL)}{\ln 2} \right) \right) \quad (2)$$

Assim, a equação de Lamparelli possibilita o uso apenas da variável clorofila- a para determinar o IET por ser a principal resposta do corpo hídrico ao agente causador do processo de eutrofização (GOVEIA et al., 2014).

Tabela 1: Índice de Estado Trófico (IET) para reservatórios.

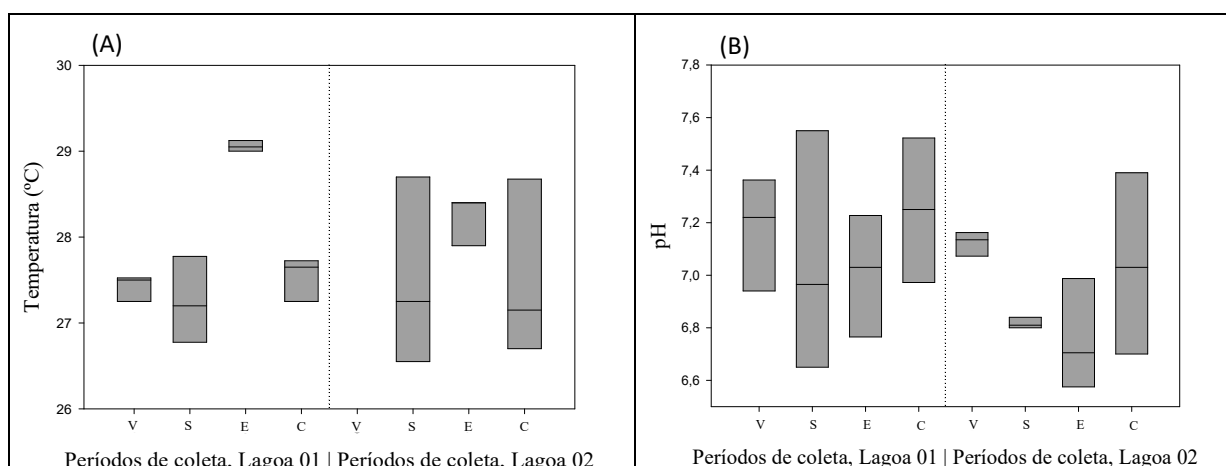
Nível trófico	IET
Ultraoligotrófico	≤ 47
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$
Hipereutrófico	> 67

Fonte: Adaptado de ANA (2014).

Foi elaborado um mapa pelo método de Krigagem, distribuição da interpolação dos valores de IET obtidos a partir da clorofila- a , por período sazonal, nos perímetros das lagoas, com o intuito de compreender o comportamento espacial da poluição. Por fim, foram realizadas análises multivariadas (Teste de normalidade de Shapiro-Wilk, teste paramétrico de Tukey, e teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis e Wilcoxon pareado) para possível investigação espacial, da influência de uma lagoa sobre a outra e investigação temporal do ambiente em estudo de acordo com a sazonalidade.

RESULTADOS

Os resultados encontrados para as variáveis Temperatura, pH, Nitrogênio Amoniacal, Nitrito, Oxigênio Dissolvido, Demanda Bioquímica de Oxigênio e clorofila- a , em função dos períodos sazonais, para as Lagoas 01 e 02, estão representados na Figura 2.



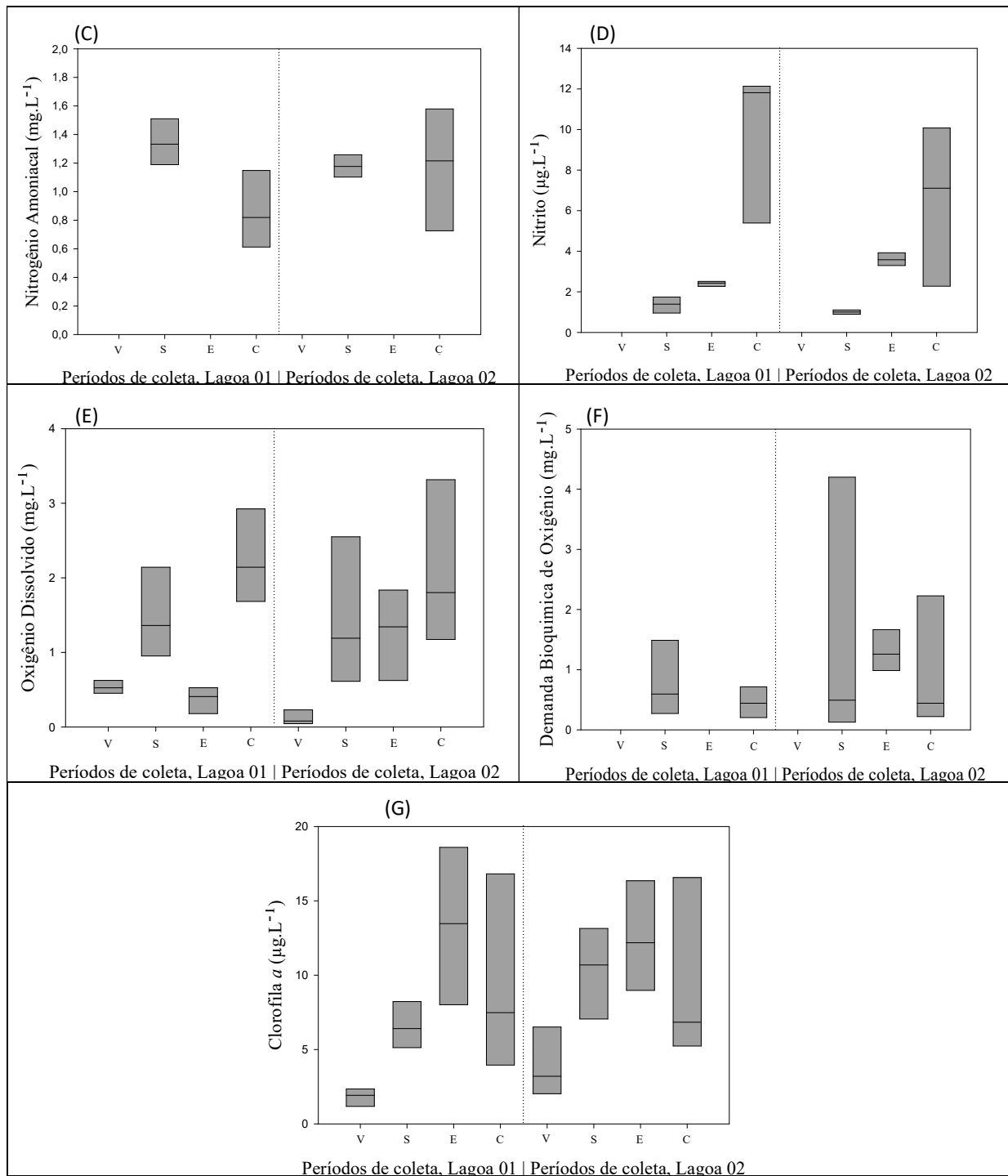


Figura 2: Box-plots comparativos das variáveis físico-químicas em função dos períodos sazonais Vazante (V), Seca (S), Enchente (E) e Cheia (C), para as Lagoas 01 e 02. Temperatura (A), pH (B), Nitrogênio Amônia (C), Nitrito (D), Oxigênio Dissolvido (E), Demanda Bioquímica de Oxigênio (F), clorofila-*a* (G).

A relação das concentrações de oxigênio dissolvido, presentes nas lagoas durante os períodos de análises com a produção primária mensurada na forma de clorofila-*a* é apresentada na Figura 3. Os resultados das análises dos testes de Tukey e Kruskal-Wallis indicaram diferenças significativas em pelo menos algum período analisado, indicando influência temporal da sazonalidade sobre as variáveis limnológicas, conforme apresentado na Tabela 2.

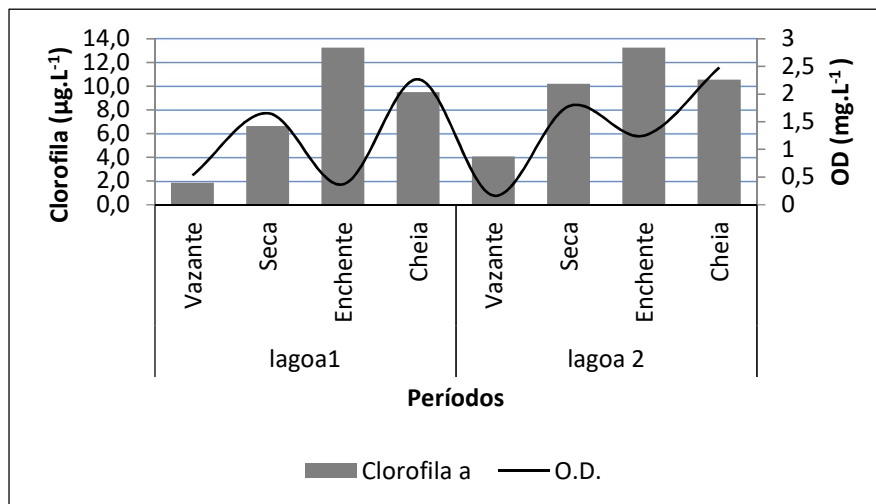


Figura 3: Relação entre as médias de concentração de clorofila-*a* e a concentração de Oxigênio dissolvido (OD) das Lagoas 01 e 02.

Tabela 2: Dados estatístico do teste de Kruskal – Wallis e teste de Tukey entre os períodos de análise.

Período	Clorofila <i>a</i>		OD	Teste Tukey
	Nitrito			N. Amoniacal
	p - valor Lagoa 1 p - valor Lagoa 2			
Vazante – Seca	--	0,02 0,03	0,00 0,00	
Seca – Enchente	0,00 0,03	0,17 0,53	0,00 0,79	
Enchente – Cheia	0,01 0,50	0,31 0,29	0,00 0,35	
Total	0,001 0,06	0,00 0,01	0,00 0,00	0,00 0,92

Notas: Período sem dados para análise; [**negrito**] Apresentou diferença significativa ($p \leq 0,05$).

Índice de Estado Trófico (IET)

O IET indicou que as lagoas do parque ecológico municipal apresentaram-se em alto estado de trofia, variando de mesotrófico a supereutrófico, conforme resultados apresentados na Figura 4.

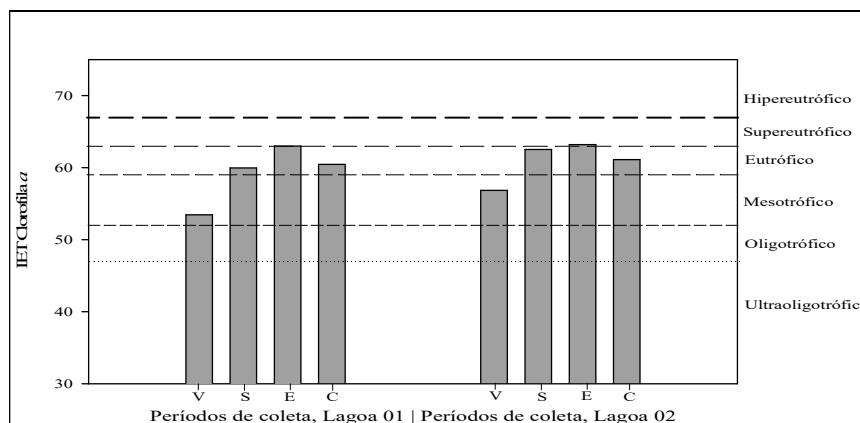


Figura 4: Valores de Índice de Estado Trófico (IET) para clorofila-*a*.

É possível observar que as lagoas 1 e 2 apresentaram perfil de nutrientes correspondente entre si, apresentando no período de vazante os menores valores de IET. Complementarmente, na figura 5 pode ser observada de forma espacializada a variação do IET para ambas as lagoas.

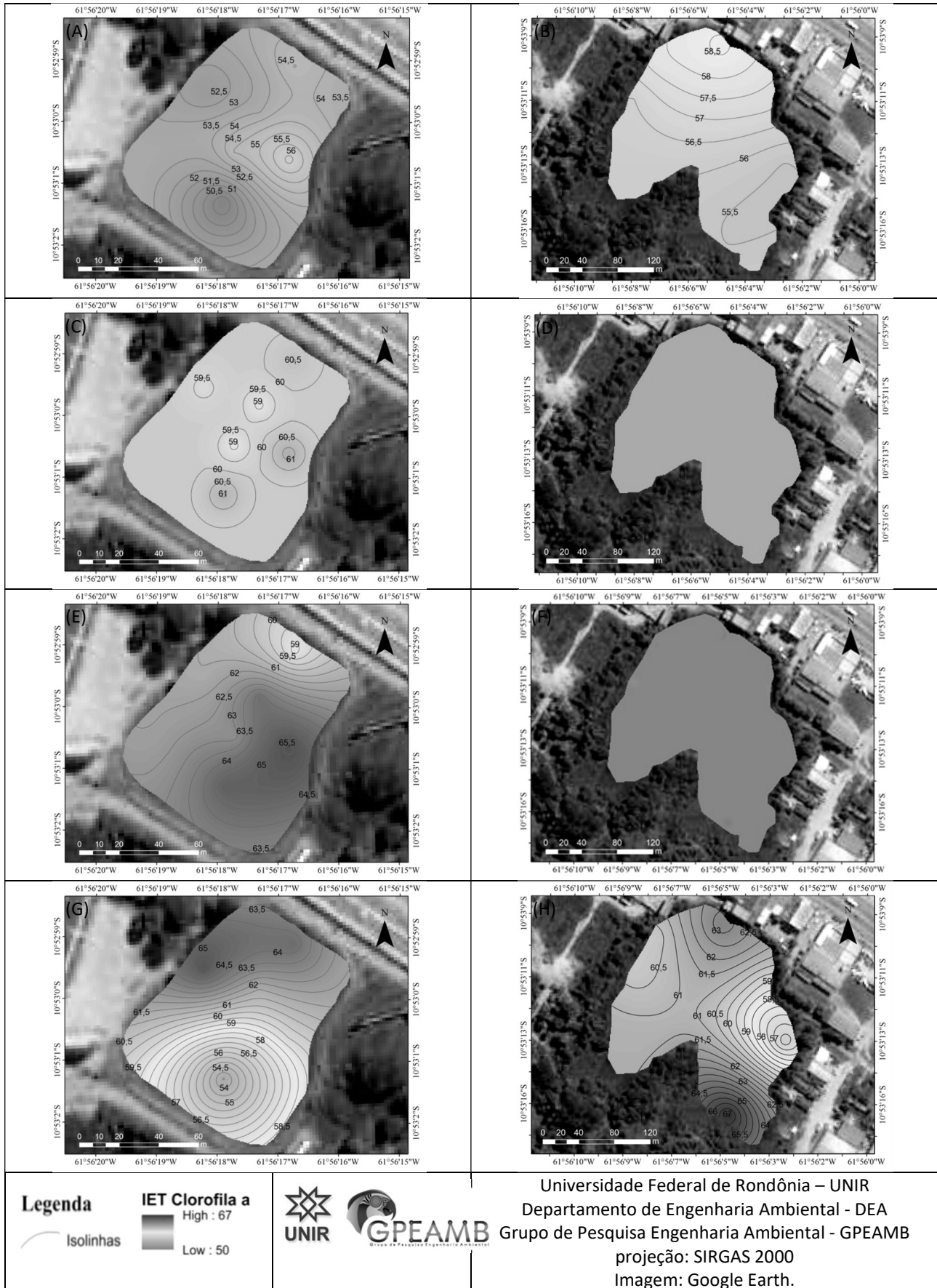


Figura 5: Espacialização do Índice de Estado Tráfico (IET) de clorofila-*a* estacional pelo método de krigagem, para a lagoa 1 e lagoa 2. (A) Lagoa 1, Vazante; (B) Lagoa 2, Vazante; (C) Lagoa 1, Seca; (D) Lagoa 2, Seca; (E) Lagoa 1, Enchente; (F) Lagoa 2, Enchente; (G) Lagoa 1, Cheia; (H) Lagoa 2, Cheia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2-A, para a lagoa 1 a temperatura apresenta significativa variação do período de enchente para os demais períodos (vazante, seca e cheia), sendo registrado 29 °C, a maior temperatura em comparação com os demais períodos e com os dados na lagoa 2. Para a lagoa 2, os valores médios de T apresentaram maior variabilidade (Figura 2-A) pelas amplitudes dos períodos da seca e cheia, sendo a maior temperatura registrada no período da seca com 28,6 °C. Porém, para o período de vazante não foi possível medir a temperatura da lagoa 2.

A variação dos valores para a lagoa 2 pode estar relacionada ao banco de macrófitas que se deslocava na extensão da lagoa interceptando a radiação solar, ainda sim as temperaturas mantêm-se dentro da faixa de temperatura de ambientes aquáticos brasileiros quem em geral situam-se entre 20 °C a 30 °C (BRASIL, 2006). O pH da água (Figura 2-B) para o período de vazante apresentou valores médios de 7,07 para a lagoa 1 e 7,11 para a lagoa 2, no período de seca os valores médios de 6,91 e 6,81, no período de enchente 6,78 e 6,71 e de cheia 7,15 e 6,94, para as lagoas 1 e 2 respectivamente.

Para melhor interpretação, a Resolução CONAMA 357/2005 preconiza para todas as classes de água doce os limites máximos e mínimos permitidos de pH que é de 6,0 a 9,0, estando todos os pontos dentro da faixa permitida. O nitrogênio amoniacal desta pesquisa (Figura 2-C) foi mensurado apenas nos períodos de seca e de cheia, apresentando valor médio pra seca na lagoa 1 com concentração de 1,36 mg.L⁻¹ e 1,19 mg.L⁻¹ para a lagoa 2. Na cheia, foram obtidas concentrações médias de 0,86 mg.L⁻¹ e 1,17 mg.L⁻¹ para a lagoa 1 e 2, respectivamente.

O nitrogênio amoniacal apresentou valores abaixo dos padrões estabelecido pela Resolução do CONAMA 357/05, estando em conformidade com os valores máximos permitido de 3,7 mg.L⁻¹ para pH ≤ 7,5 e de 2,07 mg.L⁻¹, para 7,5 < pH ≤ 8,0 em corpos hídricos de classe II, considerando que alguns valores de pH estiveram acima de 7,5. Houve diferença significativa em relação à sazonalidade para a lagoa 1 (p < 0,05), diferentemente da lagoa 2 (p > 0,05), de acordo com o teste de Tukey. Para a variável nitrito (Figura 2-D) a Resolução CONAMA 357/05 estabelece para corpos hídricos de todas as classes de água doce valores máximos permitidos de 1,0 mg.L⁻¹, e as concentrações encontradas estão ínfimo às exigências da resolução.

A lagoa 1 apresentou valor máximo de 12,20 µg.L⁻¹ e mínimo 0,87 µg.L⁻¹ de nitrito, sendo que a média ficou em 4,39 µg.L⁻¹. Para a lagoa 2, os valores máximo e mínimo são de 13,08 µg.L⁻¹ e 0,83 µg.L⁻¹ respectivamente e com média de 3,76 µg.L⁻¹. Considerando que as análises não foram realizadas no período de vazante, a aplicação do teste de Kruskal-Wallis apontou para a lagoa 1 diferença significativa entre os períodos de seca x enchente, e de enchente x cheia, como também apresentou diferença significativa para a lagoa 2 entre os períodos de seca x enchente, com p < 0,05.

Valores próximos aos desta pesquisa foram encontrados por Buzelli et al. (2013), com concentração de nitrito de 1,17 mg.L⁻¹ no período de estiagem e 0,08 mg.L⁻¹ para as chuvas, no reservatório de Barra Bonita, SP. No igarapé Riachuelo, tributário da lagoa 2, Bezerra et al. (2014) encontraram altos valores de nitrato (NO³⁻), com média variando de 4,12 mg.L⁻¹ a 6,93 mg.L⁻¹, onde a maior concentração de nitrato foi de 12,84

mg.L⁻¹. Ainda de acordo com os autores, o nitrato é a forma de nitrogênio em estágio final de decomposição para cursos hídricos, fator que pode explicar os valores pouco expressivo de nitrito desta pesquisa, acarretado pela conversão do nitrito a nitrato.

Para Esteves (1998), as concentrações de nitrito podem ser maiores dependendo do estágio de poluição dos lagos, preferencialmente em estágios avançados, enquanto o nitrogênio amoniacal já apresenta concentrações significantes em ambientes poluídos. Porém, em ambientes lóticos em estágio intermediário da poluição é raro o nitrito apresentar valores significantes (VON SPERLING, 2005).

Outro fator que pode ter determinado o baixo valor de nitrogênio amoniacal e nitrito é apresentado por Quegue (2011), onde o transporte convectivo de oxigênio captado pelas folhas das macrófitas é levado para as raízes, oxigena as rizosferas e favorece o processo de nitrificação e também a assimilação da amônia pelas plantas.

O oxigênio dissolvido (OD) é um gás essencial e fator limitante à manutenção da vida aquática podendo apresentar condições de hipóxia ou anoxia, (pouca ou ausência de oxigênio) dependendo da sua concentração o OD pode ser também um fator limitante no processo autodepuração de sistemas aquáticos naturais (ESTEVES, 1998; CETESB, 2017).

Desta forma, para a preservação da vida aquática a Resolução CONAMA 357/05 define o valor mínimo de OD de 5 mg.L⁻¹. Conforme exposto na Figura 2-E, todos os períodos não se enquadraram nas exigências da resolução vigente, apresentando condições que tendem a hipoxia, principalmente no período de vazante, com valores próximos de 0 mg.L⁻¹.

As lagoas apresentam alta densidade de macrófitas flutuantes e emergentes sobretudo a lagoa 2, que são responsáveis pelo sombreamento do meio, impedindo o crescimento de outros vegetais e fotossintetizantes, além de liberar o oxigênio gerado na fotossíntese para fora da água (THOMAZ et al., 2003). Santos (2017) defende que, devido ao processo de eutrofização que faculta o adensamento de plantas aquáticas flutuantes, gera então a depleção do oxigênio causando a mortandade de espécies vegetais e animais, causando impactos negativos a qualidade do corpo hídrico.

Bezerra et al. (2014) em seu estudo no tributário da lagoa 2, obteve valor máximo e mínimo para OD de 8,98 e 3,53 mg.L⁻¹, respectivamente. Vale ressaltar que nesta pesquisa para o período de vazante a análise foi realizada *in loco* por meio de sonda. O teste de Kruskal-Wallis para OD aponta diferença significativa para a lagoa 1 entre todos os períodos, confirmando a influência da sazonalidade sobre a lagoa. Opostamente, a lagoa 2 não apresentou diferença significativa entre os períodos de seca x enchente, e de enchente x cheia.

As lagoas apresentaram baixa DBO como demonstrado na Figura 2-F, porém apresentaram consumo total do OD no período de enchente para a lagoa 1, e a lagoa 2 no período de seca, apresentou valores inferiores a 1 mg.L⁻¹ para o conjunto de dados no quadrante inferior. Santos (2017) atribui as macrófitas à eficiência de remoção de DBO devido sua capacidade de absorção e de incorporação de nutrientes em sua biomassa, habilidade de acelerar a ciclagem e acúmulo de nutrientes bem como interfere na sedimentação, fatores que justificam seu amplo uso em fitorremediação.

Diante destes apontamentos pode ser explicado os baixos valores de DBO desta pesquisa, uma vez que as coletas foram realizadas no meio dos bancos de macrófitas, podendo explicar a baixa concentração de matéria orgânica e, conseqüentemente, a baixa necessidade de oxigênio para a degradação da matéria orgânica remanescente.

A concentração de clorofila-*a* (FIGURA 2-G) para a lagoa 1, apresentou uma variabilidade de 0,85 $\mu\text{g.L}^{-1}$ no período de vazante a 27,7 $\mu\text{g.L}^{-1}$ no período de cheia, com concentrações médias de 1,85 $\mu\text{g.L}^{-1}$ na vazante, 6,62 $\mu\text{g.L}^{-1}$ na seca, 13,25 $\mu\text{g.L}^{-1}$ na enchente e 9,48 $\mu\text{g.L}^{-1}$ na cheia. Os valores médios para a lagoa 2 foram de 4,06 $\mu\text{g.L}^{-1}$ para o período de vazante, 10,18 $\mu\text{g.L}^{-1}$ para o período de seca, 13,25 $\mu\text{g.L}^{-1}$ para o período de enchente e 10,50 $\mu\text{g.L}^{-1}$ para o período de cheia (Figura 2-G).

Duarte et al. (2012) encontraram valores elevados de clorofila-*a* na Lagoa Jacuném, inserida no perímetro urbano do município do Espírito Santo em processo de eutrofização artificial devido o aporte de lançamento de efluente doméstico e industrial, com valores mínimo de 50 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e máximo de 309,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Buzelli et al. (2013) também encontrou valores altos de 214 $\mu\text{g.L}^{-1}$ na estiagem e no período de chuva de 87,61 $\mu\text{g.L}^{-1}$ no reservatório de Barra Bonita/SP.

Bem et al. (2013) observaram que o aumento da concentração de OD acompanha o crescimento do fitoplânctons, encontrando valores médios de concentração de clorofila-*a* entre 0,23 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 10,89 $\mu\text{g.L}^{-1}$, com valor máximo de 34,79 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Nascimento (2012) encontrou valores médios de clorofila-*a* no reservatório da UHE Samuel no estado de Rondônia para o período equivalente ao de enchente de 2,2 $\mu\text{g.L}^{-1}$, na cheia de 2,7 $\mu\text{g.L}^{-1}$, vazante de 4,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e seca de 4,7 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

A Resolução CONAMA 357/05 define como valor máximo permitido de clorofila-*a* para corpos hídricos de classe 2 a concentração de 30 $\mu\text{g.L}^{-1}$, estando todos os valores encontrados na presente pesquisa enquadrados no limite da resolução. Estudos realizados no Rio Machado, ambiente lótico, do qual a área de estudo desta pesquisa pertence à sua várzea, apresentou valores de clorofila-*a*, sendo encontrado o valor de maior média no período de seca, equivalente a 3,17 $\mu\text{g.L}^{-1}$, na enchente de 2,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$, na vazante de 1,69 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e na cheia apresentou o menor valor, de 0,87 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (PINTO, 2015).

Pinto (2015) evidenciou correlação de OD e clorofila-*a* e apontou que esses “resultados indicam que a atividade biológica, através da produção primária, tem forte influência na dinâmica de oxigênio dissolvido na água para o ecossistema estudado”. Desta forma, o OD verifica nesta pesquisa no período de enchente não apresenta estreita ligação com a produção primária, visto que no período de enchente, onde apresentou crescimento de clorofila-*a* obtendo os maiores valores, houve uma diminuição do OD. Por sua vez, os demais períodos apresentaram relação entre as variáveis, indicando que o a biomassa fitoplanctônica representada pela clorofila-*a* seja responsável pela contribuição de oxigênio dissolvido (Figura 3).

Estatisticamente, a clorofila-*a* apresentou diferença significativa apenas entre os períodos de vazante e seca, para ambas as lagoas, com $p < 0,05$, e, os demais períodos apresentaram semelhança, indicando que a sazonalidade não foi fator significativo para variação das concentrações, de acordo com o Teste Kruskal-Wallis. Desta forma, sugere-se que a diminuição do OD no período de enchente se dá pela inserção de matéria orgânica devido ao revolvimento do sedimento, com conseqüente consumo do OD na oxidação da

matéria orgânica, fato observado na análise de DBO que para o mesmo período o consumo de OD da amostra foi consumido por completo, impossibilitando a realização da análise.

Índice de Estado Trófico (IET)

No período seco e de enchente houve a elevação do IET em ambas as lagoas. A lagoa 2 apresentou comportamento homogêneo, onde foram verificadas isolinhas com intervalo no valor de 0,5 (Figura 5-D e 5-F). Durante o período de cheia, os valores do IET diminuem devido ao arraste dos nutrientes e de biomassa fitoplanctônica, resultando na redução da concentração de clorofila-*a* no ambiente.

O período de vazante apresentou menor grau de trofia devido ao arraste dos nutrientes causados pelo período de cheia, posteriormente houve o aumento da eutrofização no período de seca decorrente da diminuição do volume de água e concentração dos nutrientes, no qual, com o arraste de nutrientes exógenos para dentro da lagoa, e revolvimento do nutrientes endógenos, de fundo, no período de enchente aumentou o grau de trofia do ambiente, que sequencialmente no ciclo torna a reduzir com o arraste do período de cheia, em ambas lagoas.

Desta forma, a dinâmica das lagoas apresenta semelhança, o que reforça a relação entre os ambientes, havendo alterações não significativas das características da água no percurso entre os ambientes. Ainda, foi possível evidenciar por meio dos resultados do teste de Wilcoxon pareado, a incoerência de diferença estatística significativa devido as semelhanças entre os dados das variáveis, nitrito, clorofila-*a* e o Índice de Trofia durante os períodos sazonais para a lagoa 1 e lagoa 2 ($p > 0,05$).

CONCLUSÕES

Foram identificadas altas concentrações de fósforo, em desacordo com a Resolução CONAMA 357/2005, como também a escassa disponibilidade de oxigênio, atribuindo ao meio aquático condições anóxicas, sendo este um fator limitante da vida aquática, contrariando a objetividade do Artigo 3º da Lei Municipal Nº 1091/2001, que visa a preservação da fauna, flora e a beleza natural do ambiente.

Mediante os resultados do IET, verificou-se que as lagoas predominaram no nível Eutrófico, principalmente na lagoa 1, apresentando diferenciação no comportamento sazonal apenas na vazante. Para as variáveis limnológicas, foi verificada diferença significativa entre os períodos sazonais por meio dos testes estatísticos, indicando que o regime hidrológico local interfere na qualidade da água e na diluição dos nutrientes.

Os resultados evidenciam a importância de trabalhos acerca das relações entre o uso e ocupação de microbacias e a limnologia de ambientes lênticos, cujos estudos ainda são escassos para a região, especialmente em áreas legalmente protegidas, para compreender tais interações e posteriormente realizar planejamento e ações cabíveis.

REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional das Águas. **Portal da qualidade das águas: indicadores de qualidade: índice do estado trófico**

(IET). Brasília: ANA, 2014.

APHA. American Public Health Association. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. 21 ed. Washington: Centennial, 2005.

BEM; C. C.; BRAGA, M. C. B.; AZEVEDO, J. C. R.. Avaliação do estado trófico de um lago urbano raso. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v.10, n.1, p.41-50, 2013. DOI: <http://doi.org/10.21168/reg.v10n1.p41-50>

BEZERRA, R. R.; ANDRADE, N. L. R.. Variáveis químicas e biológicas do Igarapé Riachuelo como indicadores de poluição urbana na cidade de Ji-Paraná (RO). **CESUMAR**, v.16, n.2, p.163-169, 2014.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 5 de outubro de 1988**. Brasília: DOU, 1988.

BRASIL. **Lei n.9.985**. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília: DOU, 2000.

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

BRASIL. Ministério da Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília: MS, 2006.

BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B.. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita/SP. **Revista Ambiente & Água**, v.8, n.1, 2013. DOI: <http://doi.org/10.4136/ambi-agua.930>

COELHO FILHO, J. A. P.; CARDOSO, A. T.; SOUZA, D. N.; MAGALHÃES, L. F.. Análise quantitativa dos efeitos da urbanização sobre a infiltração e o escoamento superficial na cidade de Goiânia/GO. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22. **Anais**. Florianópolis: ABRH, 2017.

CUTRIM, M. V. J.; FERREIRA, F. S.; SANTOS, A. K. D.; CAVALCANTI, L. F.; ARAÚJO, B. O.; CUTRIM, A. C. G. A.; FURTADO, J. A.; OLIVEIRA, A. L. L.. Trophic state of na urban coastal lagoon (northern Brazil), seasonal variation of the phytoplankton community and environmental variables. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, n.216, p.98-109, 2019.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. **Mortandade de peixes**. Oxigênio Dissolvido. Brasília: CETESB, 2017.

ESTEVES, F. A.. **Fundamentos de Limnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FREITAS, E. P.; MORAES, J. F. L.; FILHO; A. P.; STORINO, M.. Indicadores Ambientais para Áreas de Preservação Permanente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.4, p.443-449, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000400013>

GOVEIA, D.; REBELO, A.; LORO, A. P.; SASSO, G. D.; ROCHA T. N. F.; DOMPIERI, T. P.; CARLOS, V. M.. Uso de índices de qualidade para avaliação da água em ambiente lêntico. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v.8, n.2, p.104-

111, 2014. DOI:

<http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2014v8n2p104-111>

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística. **Cidades**. Brasília: IBGE, 2017.

Ji-PARANÁ. **Lei n.1.091**. Cria o Parque Ecológico Municipal de Ji-Paraná, dando outras providencias. Ji-Paraná: DO, 2001.

Ji-PARANÁ. **Decreto 6419**. Regula a Lei municipal que Cria o Parque Ecológico Municipal de Ji-Paraná, dando outras providencias. Ji-Paraná: DO, 2002.

Ji-PARANÁ. **Decreto 1969**. regula o art. 38 da seção V, do Código Ambiental Municipal, na parte que trata dos Bunitizais, inseridos nas ZPPs (Zona de Preservação Paisagística). Ji-Paraná: DO, 2013.

Ji-PARANÁ, **Lei n.2759**. Introduce modificações na Lei Municipal nº 1091, de 14 de julho de 2001, que cria o Parque Ecológico Municipal de Ji-Paraná. Ji-Paraná: DO, 2014.

LAMPARELLI, M. C.. **Grau 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.

MARTINEZ, E. A.; CASALINHO, H. D.; LIMA, A. C. R.; SCHWENGBER, J. E.. Oferta de serviços ambientais a partir de diferentes agroecossistemas de base familiar no sul do Rio Grande do Sul. **Agricultura Familiar: Pesquisa, Formação e Desenvolvimento**, Belém, v.11, n.1, p.71-86, 2015.

NASCIMENTO, E. L.. **Fatores ambientais reguladores da dinâmica de cianobactérias no reservatório da usina hidrelétrica de Samuel/Rondônia (Amazônia Ocidental, Brasil)**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

PINTO, T. J. S.. **Fluxo evasivo de co2 na interface água/atmosfera do Rio Jiparaná/RO**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná, 2015.

APA. Agência Portuguesa do Ambiente. **Protocolo de Monitorização e Processamento Laboratorial**: Elemento Fitoplâncton. Lisboa: APA, 2009.

QUEGUE, K. E.. **Tratamento de esgoto sanitário pelo sistema zona de raízes utilizando plantas de bambu**. Dissertação (Pós-Graduação em engenharia do meio ambiente) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

SANTOS, C. A. P.. Macrófitas biondicadoras em trecho urbano do Rio Grande, oeste da Bahia. **Caderno de Pesquisa**, Santa Cruz do Sul, v.29, n.1, p.25-35, 2017.

TORRES-FRANCO, A. F.; GÓNGORA, G. R.; NATALY, G.; CALIZAYA, J.; FILHO, C. R. M.; FIGUEREDO, C. C.. Physicochemical and diatom trophic state indexes: A complementary approach for improving water sustainability in a high Andean urban stream. **Ecohydrology & Hydrobiology**, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2019.01.007>

THOMAZ, M.; BINI, L. M.. **Ecologia e manejo de macrófitas**

aquáticas. Maringá: EDUEM, 2003.

VON SPERLING, M.. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**: introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3 ed. Belo Horizonte: DESA, 2005.

WEBLER, A. D.; GOMES, J. B.; AGUIAR, R. G.; ANDRADE, N. L. R.; AGUIAR, L. J. G.. Mudanças no uso da terra e o particionamento de energia no sudoeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.8, p.868-876, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000800011>

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 **Sustenere 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.