



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO REITOR JOÃO DAVID FERREIRA LIMA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA

Felippe Luiz Dalpiaz

**Dinâmica temporal dos principais parâmetros tróficos: 10 anos de estudo em uma lagoa  
costeira subtropical dominada por cianobactérias**

Florianópolis  
2020

Felippe Luiz Dalpiaz

**Dinâmica temporal dos principais parâmetros tróficos: 10 anos de estudo em uma lagoa costeira subtropical dominada por cianobactérias**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Ecologia

Orientador: Prof. Dr. Mauricio Mello Petrucio  
Coorientadora: Prof.(a) Dra. Aurea Luiza Lemes da Silva.

Florianópolis

2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Dalpiaz, Felipe Luiz

Dinâmica temporal dos principais parâmetros tróficos :  
10 anos de estudo em uma lagoa costeira subtropical  
dominada por cianobactérias / Felipe Luiz Dalpiaz ;  
orientador, Mauricio Mello Petrucio, coorientador, Aurea  
Luiza Lemes da Silva, 2020.

65 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro de Ciências Biológicas, Programa de Pós  
Graduação em Ecologia, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Ecologia. 2. qualidade de água . 3. Lagoa do Peri .  
4. modelo GAM. 5. Clorofila. I. Petrucio, Mauricio Mello .  
II. da Silva, Aurea Luiza Lemes. III. Universidade Federal  
de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ecologia.  
IV. Título.

Felippe Luiz Dalpiaz

**Dinâmica temporal dos principais parâmetros tróficos: 10 anos de estudo em uma lagoa costeira subtropical dominada por cianobactérias**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Dr. Rodrigo de Almeida Mohedano

Avaliador Externo

Dr<sup>a</sup> Andrea Santarosa Freire

Avaliadora Interna

Dr. Maurício Mello Petrucio

Presidente e Orientador

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Ecologia

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Andrea Santarosa Freire

Coordenadora do Programa

---

Prof. Dr. Mauricio Mello Petrucio

Orientador

Florianópolis, 2020

Este trabalho é dedicado aos meus pais Sandro e Rachel que com sua humildade e força de vontade venceram a vida e me deram a oportunidade de estudar o que eu gosto.

## AGRADECIMENTOS

—Gostaria de agradecer a todos que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho, em quaisquer etapas, o qual é resultado de um processo de estudo e capacitação.

De forma especial:

Aos meus pais que sempre me apoiaram estudar, ser humilde e persistente nas escolhas e dificuldades que o mundo nos apresenta, mais ainda quando se fala em mercado de trabalho e capacitação como uma pós-graduação.

Ao meu orientador Maurício Mello Petrucio que aceitou me orientar, sem saber de onde eu apareci, como apareci e por que apareci. No meio de tantos “não” dentro da universidade federal ele me acolheu e sou muito grato.

A minha coorientadora Aurea Lemes e seu companheiro Luís Carlos por todas as contribuições e auxílios, nunca se negaram a me ajudar nem mesmo com sua filha Laura, que eu conheci desde os primeiros dias de vida. Em meio à choras da pequena e troca de fraldas me ajudaram com toda sabedoria e paciência, entretanto gostaria de agradecer principalmente pela amizade de vocês.

Ao meu amigo Bruno, jovem pesquisador, cientista já em poucos anos de graduação, por ter me dado um canto de sua casa para que eu pudesse dormir durante o ano de 2020.

A Michelle, por várias ajudas, conversas, seja no campo, laboratório ou mesmo no telefone, sempre esteve me dando dicas de como levar o mestrado e demais atividades. Jéssica, Lorena, Lucas Garbo, e todo o pessoal que hoje compõe o LIMNOS.

Não esquecendo dos alunos que coletaram os dados durante os anos de 2008 e 2018 ao qual eu pude ter acesso e trabalhar. Vocês foram essenciais para que eu pudesse estudar todos os dados da Lagoa do Peri neste mestrado.

A toda equipe do LAPAD, em especial a Renata com sua proatividade e humildade sempre buscou ajudar a todos e a mim. Ronaldo, Pedrão e Maurício pelas risadas nas longas viagens de campo ao Oeste Catarinense do projeto mexilhão e também do monitoramento da Lagoa do Peri. Piratuba nos aguarda em próximas oportunidades!

Aos colegas da turma de Mestrado e Doutorado 2018, 2019 e 2020, em especial: Suelen, Andrei, Fiuza e Marcelo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro e ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia (POSECO) por todo o suporte dentro destes 24 meses.

Nada acontece por acaso.  
Não existe a sorte.  
Há um significado por detrás  
de cada pequeno ato.  
Talvez não possa ser visto  
com clareza imediatamente  
mas sê-lo-á antes que  
se passe muito tempo.  
Richard Bach



## RESUMO

### **Dinâmica temporal dos principais parâmetros tróficos: 10 anos de estudo em uma lagoa costeira subtropical dominada por cianobactérias**

Estudos que visam entender como as mudanças nas concentrações de determinados parâmetros tróficos interferem na estrutura das comunidades aquáticas são cruciais para prever os efeitos das mudanças ambientais no funcionamento dos ecossistemas lacustres. Nos últimos anos, diversos estudos estão sendo realizados nestes ambientes, afim de entender a dinâmica de determinados parâmetros tróficos, tais como nutrientes totais (nitrogênio e fósforo) e clorofila-*a* na Lagoa do Peri. Deste modo, este estudo teve o objetivo de analisar a dinâmica temporal dos principais parâmetros de trofia da água com vistas a determinar potenciais mudanças no estado trófico em uma lagoa costeira subtropical, considerada o principal manancial de abastecimento da região. Nós coletamos água deste ecossistema e determinamos valores de parâmetros abióticos (TN – nitrogênio total; TP – Fósforo total; Cla – Clorofila-*a*; WT – Temperatura da água; depth – Profundidade do ponto de coleta; Secchi – Transparencia da coluna d'água; Rainfall - precipitação acumulada de 7 dias anteriores à coleta) e analisamos com por meio de séries temporais ( $n = 120$  registros por variável). Secchi e Cla apresentaram a maior correlação positiva entre os parâmetros estudados, seguido por TN e Secchi. As concentrações médias de nutrientes (TN e TP) e Cla foram significativamente diferentes entre os anos analisados, com maiores valores registrados nos anos de 2016 a 2018. A análise de componentes principais (PCA) apresentou 48,78% da variação dos dados. Secchi, Cla e TN foram as variáveis que mais contribuíram para o eixo PC1, já para o eixo PC2, depth, TP e WT foram as que mais contribuíram. O modelo GAM apresentou uma explicação de 43%, levando em consideração as variáveis TN, WT, Sehci e Secchi como preditoras para as concentrações de Cla. Modelo ARIMA apresentou uma evolução das concentrações de TN e Cla, sugerindo uma alteração do estado trófico na Lagoa do Peri nos anos de 2018 a 2020. O uso de modelos de predição podem ajudar a entender melhor a dinâmica dos parâmetros tróficos relevantes e dominância e a dinâmica de ecossistemas aquáticos. Outrora, o conhecimento dos padrões evolutivos dos ambientes aquáticos podem subsidiar ações com objetivo de garantir os serviços ecossistemicos provindos da água.

**Palavras-chave:** Parâmetros tróficos relevantes; Eutrofização; Lagoa do Peri; Modelo aditivo generalizado (GAM).

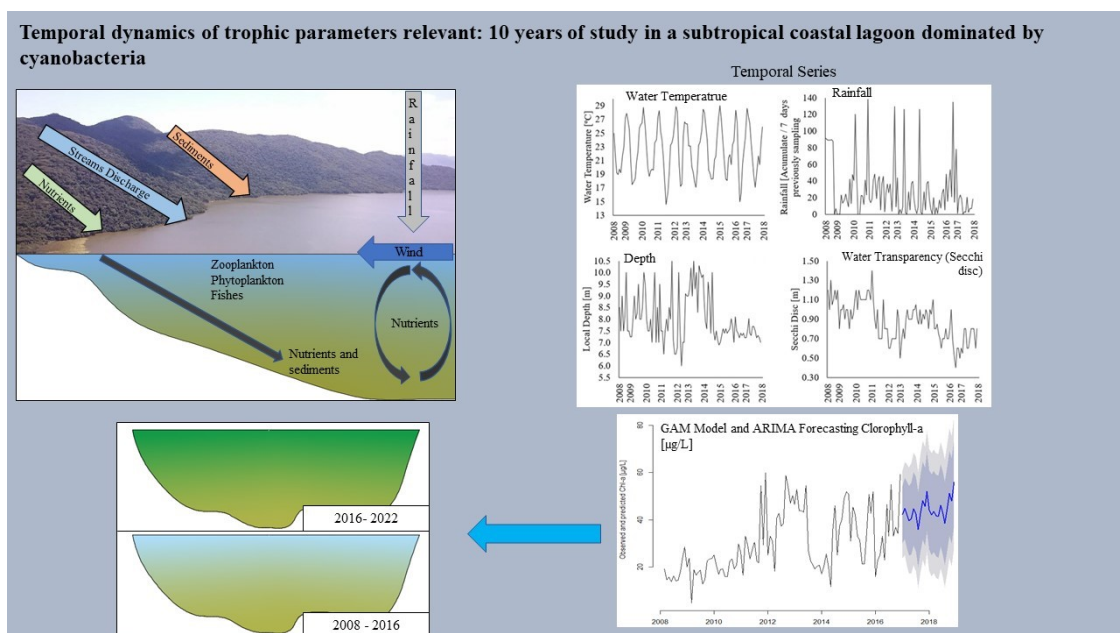
## ABSTRACT

### Temporal dynamics of the main trophic parameters: 10 years of study in a subtropical coastal lagoon dominated by cyanobacteria

Studies aimed at understanding how changes in trophic parameter changes interfere with the structure of aquatic communities and are crucial for visualizing the effects of environmental changes on the functioning of lake ecosystems. In recent years, several studies have been performed in these environments, in order to understand the dynamics of determined trophic parameters (nitrogen, phosphorus and chlorophyll-*a*). We collected water samples from this ecosystem and determined abiotic parameter values (TN - total nitrogen; TP - total phosphorus; Cla - Chlorophyll-*a*; WT - Water temperature; depth - depth of collected sample; Secchi - transparency of water column; Rainfall - cumulative collection of 7 days before sampling) followed by analyzed with time series ( $n = 120$  records per variable). Secchi and Cla described the highest positive correlation between the parameters and TN and Secchi. The nutrient media indices (TN and TP) and clause levels were different between the years analyzed, with higher values recorded from 2016 to 2018. An analysis of the principal components (PCA) showed 48.78% of the variation of the data analisys. Secchi, Cla and TN were the variables that contributed the most to the PC1 axis, while to the PC2 axis, the depth, TP and WT contributed the most. The GAM model shows 43% explanation, taking into account the TN, WT, Sechci and Secchi variations as predictors for the Cla analyzes. The ARIMA model forecast presented an evolution of the TN and Cla tests, suggesting a change in the tropic state in Peri Lake from 2018 to 2020. Prediction models could be help to better understand the use of the main trophic parameters and aquatic ecosystems. Therefore, knowledge of the evolutionary patterns of aquatic environments could be support actions aimed at guaranteeing ecosystem services from water.

**Keywords:** Relevant Trophic Parameters; Eutrofization; Peri Lake; Generalized Additive Models (GAM);

### Graphical Abstract



O Monumento Natural Municipal Lagoa do Peri, situado no sul da Ilha de Florianópolis é uma das unidades de conservação sob gestão da Fundação Municipal do Meio Ambiente de Florianópolis - SC (FLORAM). Considerada uma região bem preservada no que se refere as ocupações antrópicas, fornece uma ampla gama de recursos e serviços ecossistêmicos para a comunidade, sendo considerado um ambiente de grande importância ecológica e econômica. Entre estes serviços destaca-se a retirada de água para o abastecimento público de aproximadamente 25% da população de Florianópolis bem como o uso do ambiente para recreação e visitação.

Por meio de uma série de dados de qualidade de água, nos últimos 10 anos, o Laboratório de Ecologia de Águas Continentais da UFSC, identificou um aumento nas concentrações de clorofila-*a* (organismos que realizam fotossíntese), sob influência da temperatura da água, profundidade do lago e concentrações de nutrientes (nitrogênio e fósforo). Recomenda-se em casos de baixos níveis de lâmina d'água, realizar contagens de células de bactérias *Cylindrospermopsis raciborskii*, amostragens de nutrientes (fósforo, nitrogênio em sua totalidade e fracionado). Tais condições tendem a aumentar as colônias das bactérias que são prejudiciais para a saúde humana. Outra alternativa é a inserção de filtros com membranas para garantir que as bactérias *C.raciborskii* não entrem no sistema de tratamento da água a qual é destinada ao abastecimento público.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Mapa da bacia hidrográfica da Lagoa do Peri (área destacada em cinza), sul do Brasil com a localização do ponto amostral do monitoramento de qualidade de água. Estação amostral 1 (S1), Estação amostral 2 (S2), Estação amostral 3 (S3) e Estação amostral 4 (S4).  
Fonte: O autor. .... 21
- Figura 2: Variações climáticas mensais A: Rainfall: precipitação mensal acumulada e Wind Speed: Velocidade média mensal do vento. B: Temperaturas mensais do ar, mean: média; maximum: máximas e minimum: mínimas. Fonte de dados: Instituto de Controle do Espaço Aéreo de Florianópolis no período de 2008 a 2018. .... 22
- Figura 3: Série temporal dos parâmetros de qualidade de água da Lagoa do Peri entre os anos de 2008 e 2018. A: Temperatura da água em °C (WT). B: Precipitação em mm (rainfall). C: Profundidade local (Depth). D: transparência da água em m (Secchi). .... 37
- Figura 4: Série temporal dos parâmetros associados a estado trófico da Lagoa do Peri entre os anos de 2008 e 2018. A: Nitrogênio total em  $\mu\text{g/L}$ ; B: Fósforo total em  $\mu\text{g/L}$ ; C: Relação Nitrogênio: Fósforo; D: clorofila-*a* em  $\mu\text{g/L}$ . .... 39
- Figura 5: Resultado da Análise de componentes principais (PCA) das variáveis bióticas e abióticas da água: Cla: clorofila-*a*, TN: Nitrogênio Total, TP: Fósforo total, WT: Temperatura da água, Rainfall: Precipitação acumulada de 7 dias anteriores à coleta, Secchi: Transparência da coluna da água (m) e depth: profundidade local (m). .... 40
- Figura 6: Resultados do modelo aditivo generalizado (GAM) que representam o efeito do Nitrogênio total (A), transparência da água (B), profundidade do local de coleta (C) e temperatura da água (D) em resposta às concentrações de Clorofila-*a*. As áreas sombreadas indicam um intervalo de confiança de 95% para as linhas suavizadas. As linhas na parte inferior do eixo “x” indicam os valores observados das variáveis. .... 42
- Figura 7: Valores das concentrações de Clorofila-*a* e Fósforo Total (TP) observados de janeiro de 2008 a janeiro de 2018 (linha preta) com previsões para o período de janeiro de 2018 a dezembro de 2019. As áreas sombreadas são os intervalos de confiança de 80% (Cinza claro) e 95% (cinza Escuro). .... 43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação de corpos d'água tropicais de acordo com as concentrações de Fósforo Total, clorofila- <i>a</i> e Transparência da coluna d'água. Fonte: Adaptado de Lamparelli, 2004. ....	27
Tabela 2: Coeficientes de correlação de Spearman ( <i>r</i> ) relacionando os nutrientes, clorofila- <i>a</i> com as variáveis abióticas ( <i>n</i> = 106 observações, <i>p</i> < 0,05). Abreviações: Profundidade do local de coleta (Depth), Nitrogênio total (TN), Fósforo total (TP), clorofila- <i>a</i> (Cla), Temperatura da água (WT), Transparência da coluna d'água (Secchi), precipitação (Rainfall).....	37
Tabela 3: Número de amostras e classificação do grau de trofia e índice de estado trófico (IET) para a transparência da coluna d'água (Secchi), concentração de clorofila- <i>a</i> (Cla) e fósforo total (TP) segundo Toledo <i>et al.</i> , (1990) e Lamparelli, 2004. Os números ao lado de cada classificação representam o número de meses que a Lagoa do Peri apresentou o respectivo grau de trofia. Fonte: O autor. ....	40
Tabela 4: Variáveis significantes pelo modelo com as funções de suavização aplicadas e uma relação linear (temperatura da água).....	42

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Cla – Clorophyl-*a*, Clorofila-*a*

DO – Dissolved Oxygen, Oxigênio Dissolvido

ENOS – *El Niño* Oscilação Sul

GAM – Modelo aditivo generalizado

GLM – Modelo linear generalizado

IET – Índice de Estado Trófico

LNOS – *La Niña* Oscilação Sul

pH – Potencial hidrogeniônico

Secchi – Medida da Transparência da Coluna d'água feita com disco de Secchi

TN – Total Nitrogen, Nitrogênio Total

TP – Total Phosphorus, Fósforo Total

WS – Wind Speed, Velocidade do vento

WT – Water Temperature, Temperatura da água

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>30</b>
<b>2</b>	<b>JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>18</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>19</b>
3.1	Objetivo Geral .....	19
3.2	Objetivos Específicos .....	20
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>20</b>
4.1	Área de estudo .....	20
4.2	Características da área de estudo .....	22
4.3	Bacia hidrográfica da Lagoa do Peri .....	23
4.4	Coleta e análise de parâmetros físico, químicos e biológicos .....	24
4.4.1	Amostragens dos parâmetros obtidos em campo.....	24
4.4.2	Nutrientes.....	25
4.4.2.1	<i>Nitrogênio Total</i> .....	25
4.4.2.2	<i>Fósforo Total</i> .....	25
4.4.3	Clorofila- <i>a</i> .....	26
4.5	Determinação do grau de trofia e índices de estado trófico (IET).....	26
4.6	Análise de dados e séries temporais .....	27
4.7	Modelagem preditiva .....	28
4.8	Cenários futuros.....	29
<b>5</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>32</b>
<b>6</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>33</b>
6.1	Área de Estudo.....	33
6.2	Coleta e análise de parâmetros físico-químicos.....	35
6.3	Análises estatísticas e modelagem preditiva.....	35
6.4	Cenários futuros.....	36
<b>7</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>36</b>
7.1	Dinâmica de parâmetros de qualidade de água.....	36
7.2	Índices de estado trófico .....	40

7.3	Modelo.....	41
<b>8</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>44</b>
<b>9</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>48</b>
<b>10</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>50</b>
<b>11</b>	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>60</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

As lagoas costeiras são ecossistemas lênticos distribuídos mundialmente, e normalmente dividindo espaço com as ocupações antrópicas - característica de zonas costeiras.



Localizadas em regiões de interface entre ecossistemas terrestres e oceânicos, a baixa profundidade e a suscetibilidade às alterações climáticas são características predominantes nestes ecossistemas. Tais ambientes são separados do oceano por uma barreira ou conectados a este por um ou mais canais ou pequenas baías que permanecem abertas pelo menos intermitentemente, podendo apresentar diferentes níveis de salinidade, desde águas permanentemente doces até hipersalinas (Esteves *et al.*, 2008; Tundisi e Matsumara-Tundisi, 2008; Kennish e Paerl, 2010).

As lagoas costeiras são formadas e mantidas através de processos de transporte de sedimentos proveniente das regiões que o cercam. (Anthony *et al.*, 2012). Geralmente apresentam uma baixa profundidade, e a penetração de luz na interface sedimento-água é geralmente alta (Moschini-Carlos e Pompêo, 2001; Esteves *et al.*, 2008). A hidrodinâmica é fortemente condicionada pela topografia do fundo, e o vento afeta toda a coluna d'água, promovendo a ressuspensão de materiais, nutrientes e de pequenos organismos das camadas superficiais do sedimento para a coluna d'água. Considerados sistemas altamente diversificados, as lagoas costeiras abrigam uma proporção considerável de biodiversidade. Para Esteves *et al.*, (2008) as lagoas costeiras estão entre os ecossistemas mais produtivos do planeta, e fornecem uma ampla gama de recursos e serviços para a comunidade, sendo consideradas ambientes de grande importância ecológica e econômica.

A localização geralmente em terras baixas promove o acúmulo de materiais orgânicos e inorgânicos, o que resulta em elevados graus de eutrofização natural (Chagas e Suzuki, 2005). Entretanto, atualmente outros fatores estão provocando alterações nos corpos d'água costeiros, resultando em eutrofização. Alguns exemplos destas alterações são as mudanças climáticas que promovem alterações dos fluxos de água, mudanças no uso e cobertura do solo, poluentes químicos, espécies aquáticas invasoras, e a retirada de biota para uso humano, incluindo a aquicultura (Carpenter *et al.*, 2011).

Dentre as finalidades dos estudos em lagoas costeiras, diversos pesquisadores vêm pesquisando sobre, através do uso de determinados parâmetros tróficos, a dinâmica de qualidade de água destes ambientes (Jones *et al.*, 2017; Foley e Betteron, 2019; Tibebe *et al.*, 2019). Hennemann e Petrucio (2011) analisaram nutrientes (fósforo e nitrogênio), clorofila-*a*, transparência da água e oxigênio dissolvido para entender a dinâmica de parâmetros tróficos Na Lagoa do Peri. Tiebe *et al.*, (2019) investigaram variações espaço-temporais de parâmetros de nutrientes (fósforo, nitrogênio, nitrato e fosfato), temperatura, pH, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos, transparência da coluna d'água e clorofila-*a* para o gerenciamento de um

lago na Etiópia. Adamovich *et al.*, (2019) estudaram as relações entre as variações na abundância de bactérias e o estado trófico em três lagos da Bielorrússia. Os autores mediram carbono orgânico dissolvido (DOC), fósforo total e a demanda biológica de oxigênio (DBO) para entender as relações dos lagos por meio de um monitoramento de 20 anos. Nos últimos anos, tem se observado que estudos com base nos dados dos parâmetros tróficos tem se tornado uma eficiente ferramenta para o monitoramento em lagoas costeiras (Hennemann e Petrucio, 2011; Tonetta *et al.*, 2013; Tonetta *et al.*, 2015A; Tonetta *et al.*, 2015B).

Parâmetros tróficos são variáveis utilizadas para avaliar o nível trófico dos produtores primários e o ecossistema como um todo. Eles evidenciam a estrutura de uma comunidade aquática, especialmente os produtores primários, influenciando na distribuição e na abundância de toda a estrutura do ecossistema aquático (Tiebe *et al.*, 2019; Adamovich *et al.*, 2019). Entre os parâmetros tróficos (bióticos e abióticos) mais relevantes, destacam-se os nutrientes (nitrogênio e fósforo) e clorofila-*a* (Hennemann e Petrucio, 2011). O nitrogênio, necessário para a síntese de proteínas, e o fósforo, necessário nas moléculas de DNA, RNA e nos processos de transferência de energia, são ambos essenciais para permitir o crescimento dos produtores primários, tais como a comunidade fitoplanctônica, além de serem considerados os principais nutrientes limitantes na maioria dos ecossistemas aquáticos e terrestres (Conley *et al.*, 2009).

Dentre os organismos fitoplanctônicos, um grupo tem recebido especial atenção na literatura, não só por possuir diversas espécies capazes de produzir toxinas, mas também por serem organismos com excelente capacidade de competição por recursos: as cianobactérias. Estudos sobre a dominância de cianobactérias em lagoas tem sido um importante foco das pesquisas clássicas e contemporâneas em Limnologia (Havens *et al.*, 2003; Brentano *et al.*, 2016; Miotto *et al.*, 2017) e as mudanças climáticas (aumentos de temperatura e mudanças nos padrões de precipitação e seca) são fortes catalisadoras para expansões adicionais da dominância e de florações de cianobactérias. Dentre as cianobactérias, *Cylindrospermopsis raciborskii* é uma espécie que tem sido amplamente estudada nos últimos anos, devido à alta competitividade dessa espécie em ambientes eutrofizados, aliada sua capacidade de formar florações e produzir toxinas (Tucci e Sant'anna, 2003, Brentano *et al.*, 2016; Miotto *et al.*, 2017; Galvanese *et al.*, 2019).

*Cylindrospermopsis raciborskii* foi descrita originalmente para região tropical, mas atualmente vem formando florações também em ambientes temperados. Isto demonstra sua alta capacidade de adaptação e vantagem competitiva o que possibilitou a sua rápida expansão em diferentes zonas do globo terrestre (Padisák 1997, Sant'anna e Azevedo, 2000). Entretanto, a expansão da espécie para climas temperados sugere que diferentes padrões ecológicos estão

emergindo (Vidal e Kruk, 2008; Brentano *et al.*, 2016). De acordo com estudos de Padisák (1997) sobre a espécie, o sucesso ecológico de *C. raciborskii* está diretamente relacionado aos seguintes fatores: capacidade de migração na coluna d'água, tolerância à baixa luminosidade, habilidade de armazenar fósforo internamente, alto poder de assimilação de fósforo e amônio, capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, resistência à herbivoria pelo zooplâncton, alta capacidade de dispersão (acinetos resistentes, dispersão por rios, aves etc.), sobrevivência em condições levemente salinas. Plasticidade ecofisiológica e a existência de ecotipos com diferentes preferências ambientais também tem sido consideradas importantes características que permitem à espécie ter um elevado sucesso em diferentes condições ambientais (Briand *et al.*, 2004; Piccini *et al.*, 2011; Bonilla *et al.*, 2012).

Apesar de ser comumente dominante em ambientes mais eutróficos (Bonilla *et al.*, 2011), algumas características de *C. raciborskii* favorecem a espécie em ambientes com baixa disponibilidade de fósforo, tais como: alta capacidade de armazenar fósforo dentro das células e um sistema de absorção de alta afinidade (Istvanovics, 2000); dominância favorecida em ambientes com suprimento de fósforo variável (Posselt *et al.*, 2009); e existência de diferentes ecótipos com diferentes afinidades por altas ou baixas concentrações de fósforo (Piccini *et al.*, 2011). Essa capacidade superior de *C. raciborskii* para competir por fósforo pode fazer com que as comunidades fitoplanctônicas de ecossistemas oligo e mesotróficos sejam susceptíveis de serem dominadas por esta espécie em situações de pequenos aumentos nas concentrações de nutrientes (Bonilla *et al.*, 2011).

Uma possibilidade de compreensão destas dinâmicas é a análise de séries temporais de parâmetros de qualidade de água físicos, químicos e biológicos. Por meio destas longas séries de dados podem ser observados padrões que resultem em modelos de comportamento, modelos de eutrofização, modelos de predição de evolução do acúmulo de nutrientes em lagos e demais corpos hídricos.

A Lagoa do Peri é uma lagoa costeira a qual detém o maior corpo de água doce de Florianópolis, que serve como fonte de abastecimento de água potável para 150 mil habitantes do sul e leste da ilha de Florianópolis, além de oferecer paisagens belíssimas e de possuir em seu entorno áreas com vegetação bastante preservada, com grande potencial para atividades de lazer e educação ambiental. Desde meados de 1990 a Lagoa do Peri vêm registrando a presença de *C. raciborskii* e nos últimos anos evidenciado o aumento na sua densidade e períodos de dominância (Laudares-Silva, 1999; Hennemann e Petrucio, 2010; Tonetta *et al.*, 2013; Fontes

*et al.*, 2013; Tonetta *et al.*, 2015A; Tonetta *et al.*, 2015B) como resultado do aumento dos parâmetros abióticos, especialmente nutrientes fósforo e nitrogênio.

Sendo assim, este trabalho busca testar a hipótese de que mudanças nas concentrações de fósforo total e nitrogênio total associados com aumento da clorofila-*a* poderia estar ocasionando uma mudança de estado trófico na Lagoa do Peri, passando de oligotrófico para mesotrófico podendo chegar até mesmo em eutrófico em determinados momentos.

## **2 JUSTIFICATIVA**

Conhecer as características físico-químicas e biológicas dos ambientes aquáticos tornam-se particularmente importante, visto que se possibilita determinar o padrão de funcionamento dos ecossistemas, ao mesmo tempo que se obtém informações básicas para

monitoramento ambiental. As alterações nas condições normais destes ecossistemas aquáticos, sejam elas causadas por ações antrópicas ou naturais poderão ser detectadas por meio da manutenção de monitoramento mensal, seja em visitas periódicas ou por meio de equipamentos remotos, bem como cruzamento das informações obtidas em campo.

Dessa forma observa-se que, a predição de valores futuros baseado em índices e/ou parâmetros que demonstrem evolução de processos de eutrofização, são elementos fundamentais para corrigir ações que possam estar causando alterações ao longo do tempo venham comprometer a qualidade do ambiente, impactando diretamente na perda de serviços ecossistêmicos (por exemplo: captação de água pra abastecimento público, manutenção da biodiversidade, contemplação cênica e lazer). A Lagoa do Peri abastece aproximadamente 20% do município de Florianópolis (CASAN, 2019) o que representa uma quantidade de 17.280m<sup>3</sup>/dia de água tratada e disponível para o consumo humano.

Neste sentido, objetivo deste estudo é analisar mudanças nas características físicas, químicas e biológicas da água da Lagoa do Peri, através de um banco de dados contendo 10 anos de monitoramento mensal. Além disso, este estudo tem como objetivo criar um modelo de predição das concentrações de clorofila-*a* baseado nos parâmetros abióticos (nitrogênio total, fósforo total, temperatura da água, precipitação e transparência da coluna d'água) a fim de verificar mudanças temporais nos parâmetros analisados e sua influência na comunidade fitoplânctonica.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GERAL**

Analisar a dinâmica temporal dos principais parâmetros de trofia da água com vistas a determinar potenciais mudanças no estado trófico em uma lagoa costeira subtropical, considerara o principal manancial de abastecimento da região.

### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar, através de uma base de dados de 10 anos, mudanças significativas nos valores de nutrientes totais (fósforo e nitrogênio), clorofila-*a*, transparência da coluna d'água, temperatura da água e precipitação;
- Estimar, através de modelos preditivos, mudanças no estado trófico da Lagoa do Peri utilizando as concentrações de clorofila-*a*;
- Construir cenários futuros, com base nos valores de clorofila-*a* e a dinâmica do ambiente em decorrência das mudanças climáticas (*El Niña, El Niña*).

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Área de estudo

A lagoa do Peri está localizada a sudeste da ilha de Santa Catarina (Figura 1), entre as latitudes Sul de 27°42'59" e 27°46'45" e as longitudes Oeste 48°30'33" e 48°31'59" (Oliveira, 2002), inserida em um dos últimos remanescentes de Floresta Ombrófila Densa em estágio avançado de sucessão da ilha de Florianópolis - SC. Apresenta um espelho d'água de 5,7 km<sup>2</sup>, sendo rodeada por morros cobertos por Floresta Ombrófila Densa e uma restinga típica de vegetação litorânea, a qual a mantém um ecótono entre do Oceano Atlântico (Silva, 2000).

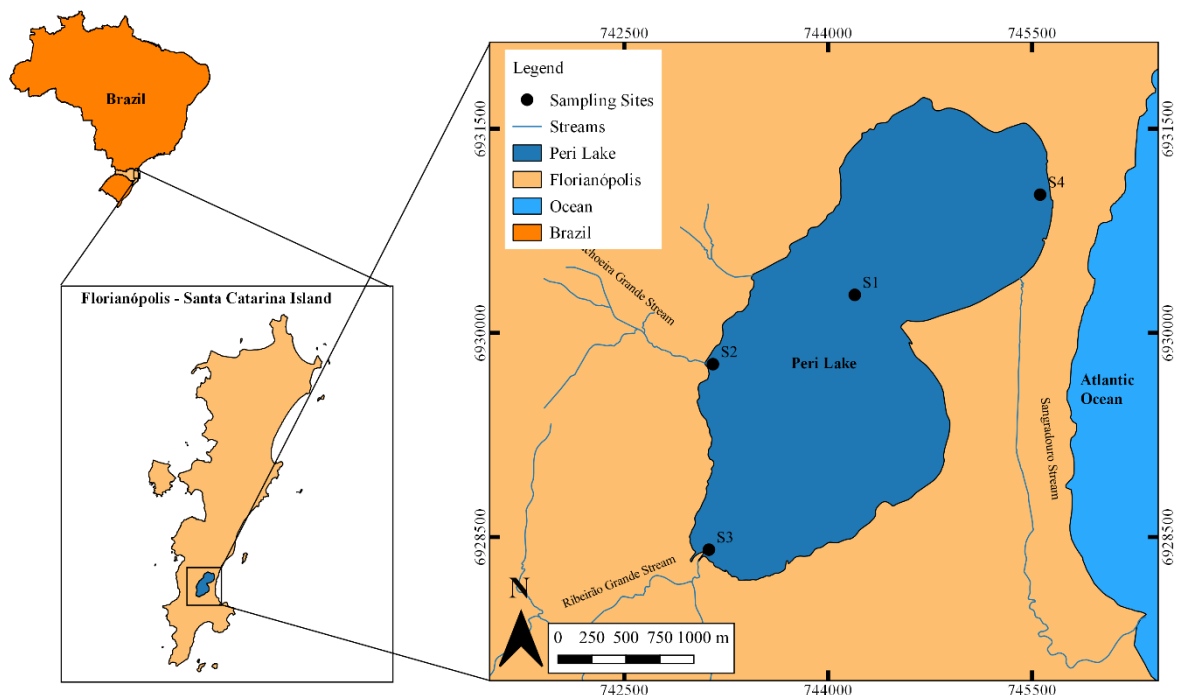


Figura 1: Mapa da bacia hidrográfica da Lagoa do Peri (área destacada em cinza), sul do Brasil com a localização do ponto amostral do monitoramento de qualidade de água. Estação amostral 1 (S1), Estação amostral 2 (S2), Estação amostral 3 (S3) e Estação amostral 4 (S4). Fonte: O autor.

O perímetro da lagoa é de 11.064 m, comprimento máximo efetivo de 4 km, largura máxima efetiva de 1,54 km para o setor norte e 1,87 km para o setor sul, uma profundidade máxima de 11 m na sua porção central e profundidade média de 7 m (Oliveira, 2002). De acordo com a classificação proposta por Schäfer (1988) a lagoa do Peri pode ser enquadrada no tipo morfológico três, que compreende lagoas pequenas em superfície (menores que 10 km<sup>2</sup>) com profundidades que varia de 5 a 11 metros.

Em 1976, a lagoa do Peri foi tombada como Patrimônio Natural do Município de Florianópolis e, desde 1981, a lagoa e seus arredores compõem o Parque Municipal da Lagoa do Peri (Lei 1.828/81; Decreto 091/82), com área total de 20,1 km<sup>2</sup>. O Parque foi criado com o intuito de preservar os atributos excepcionais da natureza, a fim de conciliar a proteção do ecossistema para serviços de abastecimento de água, práticas educacionais, científicas e recreativas que envolvam a comunidade local (Cecca, 1997).

Desde os anos 2000, os estudos neste ambiente aquático envolvem temáticas de qualidade da água, comunidades fitoplanctônicas e zooplantônicas (Tonetta *et al.*, 2016; Hennemann e Petrucio, 2016; Tonetta *et al.*, 2015a; Fuentes e Petrucio, 2015; Hennemann *et al.*, 2015; Tonetta *et al.*, 2015b), macroinvertebrados bentônicos (Pires *et al.*, 2015; Lemes-

Silva *et al.*, 2016;), além de estudos sobre decomposição de matéria orgânica nos rios tributários da lagoa (Lisboa, *et al.*, 2015; Lemes-Silva *et al.*, 2016).

#### 4.2 Características da área de estudo

O clima da região de Florianópolis é considerado do tipo Cfa: mesotérmico úmido sem estação seca definida e com verão quente, típico da região litoral sul do Brasil, com distribuição de chuvas bem regulares ao longo do ano. Entretanto apresenta as maiores concentrações nos meses de verão e menores no inverno. As médias anuais das precipitações acumuladas variam de 1500mm à 1900mm, podendo receber precipitações menores que 1500 mm ou maiores que 1900 mm em alguns períodos isolados, tais como ocorreu em 2011, que registrou uma precipitação acumulada de 2.160mm (Figura 2, EPAGRI-CIRAM). Os ventos mais fortes geralmente ocorrem nos meses de primavera e verão ( $\bar{X} = 3,03 \pm 1,10$ ) e as temperaturas variaram entre 3,30°C (junho/2008) e 39,50°C em dezembro/2012.

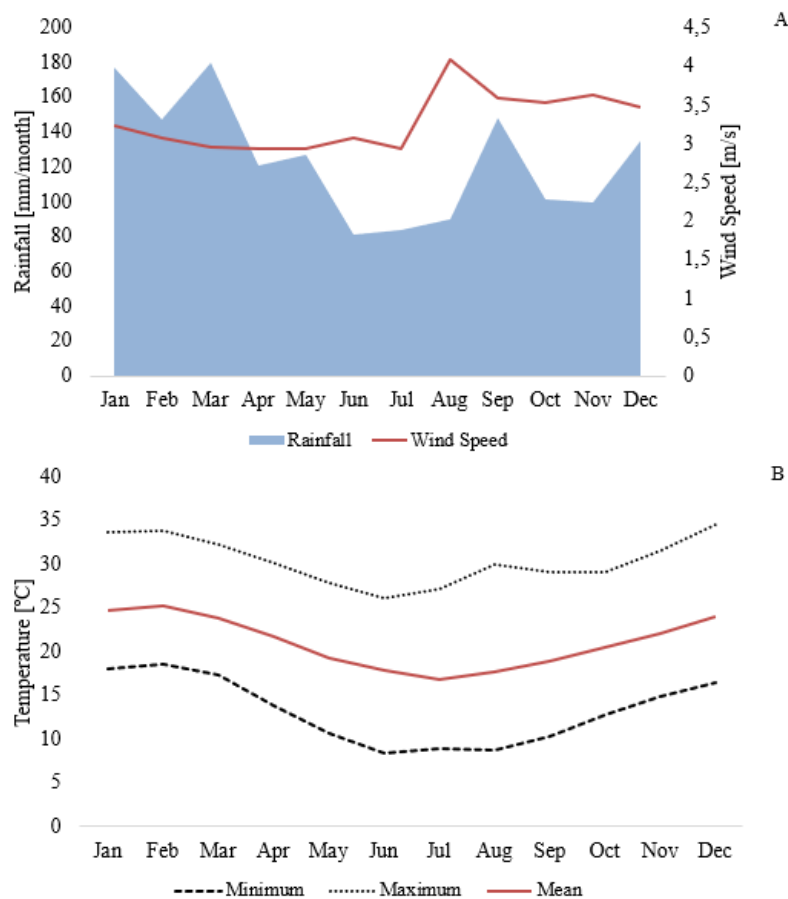


Figura 2: Variações climáticas mensais A: Rainfall: precipitação mensal acumulada e Wind Speed: Velocidade média mensal do vento. B: Temperaturas mensais do ar, mean: média; maximum: máximas e minimum: mínimas. Fonte de dados: Instituto de Controle do Espaço Aéreo de Florianópolis no período de 2008 a 2018.



Dados de ventos predominantes na região de Florianópolis foram levantados junto à CIRAM no período de 1947 a 2001 por Oliveira (2002). No período de estudo os ventos predominantes na região foram o vento de quadrante Norte ( $\approx 37\%$ ), seguido pelos ventos Sudeste ( $\approx 17\%$ ), Sul ( $\approx 16\%$ ) e Nordeste ( $\approx 10\%$ ). Outros 20% pertencem a ventos de diversas direções. Apesar dos ventos predominantes serem originários do quadrante Norte, os mais atuantes como agentes modificadores de relevo, com maiores velocidades e com maior capacidade de transporte foram os ventos do quadrante Sul.

A região onde a lagoa do Peri é caracterizada por uma topografia acidentada nas porções sul, oeste e norte, com altitudes inferiores a 500 metros, e uma faixa de restinga na porção leste. As maiores altitudes estão situadas ao longo da crista que contorna a bacia de captação da lagoa, representada pelo Morro da Chapada (440m), Morro da Tapera (383m), Morro da Boa Vista (367m) e Morro do Peri (334m). Na maioria destas encostas, predominam declividades acentuadas, entre 20 e 45% (Penteado, 2002).

Com relação a origem da lagoa do Peri, estudos apontam que a origem da Lagoa foi uma transgressão marinha no período Holoceno, estando separada do oceano no seu setor leste, por um proeminente cordão arenoso, enquanto que na sua porção oeste, limita-se com um embasamento cristalino (Oliveira, 2002). A maior parte do sedimento do fundo da lagoa é composto por silte, o qual está presente em quase toda a porção sul e oeste da lagoa, bem como boa parte das porções noroeste e central. Nas porções norte e leste estão presentes sedimentos classificados como areia fina e média (Lemes-Silva *et al.*, 2014).

#### 4.3 Bacia hidrográfica da Lagoa do Peri

A Lagoa do Peri encontra aproximadamente três metros acima do nível do mar, o que a classifica como uma lagoa suspensa de acordo com a classificação dada por Poli *et al.*, (1978) e de água doce, mantendo contato permanente com o mesmo através de um canal de despejo (canal sangrador) com fluxo de água unidirecional sentido lagoa-mar. Esta lagoa é alimentada pelos riachos Cachoeira Grande e o Ribeirão Grande, e secundariamente por pequenos córregos (IPUF, 2019; SDS 2019). O rio Cachoeira Grande possui uma extensão de 1,66km, nasce a uma altitude de 280m e apresenta uma declividade média de 20cm/m. O rio Ribeirão Grande, por sua vez, nasce a 285m de altitude, possui uma extensão de 4,6 km e declividade média de 12 cm/m e drena uma área de 6,98km<sup>2</sup> (Lapolli *et al.*, 1990; Lisboa *et al.*, 2015; IPUF, 2019;). A retificação do rio Sangradouro, em 1975, acarretou no rebaixamento do nível da água na lagoa em cerca de dois (2) metros, ao passo que a construção de uma barragem na entrada do canal da lagoa, em 1998, elevou o nível de água em cerca de um (1) metro. A construção da estação

de tratamento de água da CASAN levou a uma nova elevação de quase um metro no final da década de 1990.

#### 4.4 Coleta e análise de parâmetros físico, químicos e biológicos

##### 4.4.1 Amostragens dos parâmetros obtidos em campo

As medidas de 5 parâmetros (temperatura da água, condutividade elétrica, o pH, concentração de oxigênio dissolvido e profundidade do ponto coletado) foram realizadas mensalmente de janeiro de 2008 a dezembro de 2018. As medidas foram realizadas com o auxílio de sondas de leituras específicas (Marca YSI-85 professional Plus e analisador portátil de profundidade da marca Speedtech, modelo SM5) em quatro estações amostrais, sendo região Central (estação 1; sob coordenadas 27°43'46.35"S e 48°31'15.99"O), região ao sul, próxima da desembocadura dos rios Cachoeira Grande (estação 2; sob coordenadas 27°44'5.99"S e 48°32'0.65"O) e Ribeirão Grande (estação 3; sob coordenadas 27°44'47.29"S e 48°32'0.26"O) e uma região arenosa próxima à sede do Parque (estação 4; sob coordenadas 27°43'34.51"S e 48°30'33.85"O). Na estação 1, as medidas foram realizadas em quatro profundidades de acordo com a extinção de luz: 100% de luminosidade incidente (superfície), 10% de luminosidade (profundidade do desaparecimento visual do disco de Secchi), 1% de luminosidade (três vezes a profundidade do desaparecimento visual do disco de Secchi) e zona afótica (Tonetta *et al.*, 2016). Nas estações 2, 3 e 4 as medidas foram conduzidas na profundidade de 10% de luminosidade incidente (profundidade do disco de Secchi), visto que é a região de maior produção primária. Amostras de água foram coletadas para determinação da alcalinidade (50 mL da água do ambiente foi acidificada com ácido sulfúrico (0,01N), seguido por medições do pH com pHmetro com precisão de 0,01 unidades (Digimed DM-22), até o ponto final de 3,75 (Mackereth *et al.*, 1978) Outras alíquotas de água foram coletadas para a determinação das concentrações de fósforo, nitrogênio total (Valderrama, 1981) e clorofila-*a* em laboratório.

De acordo com estudo apresentado por Hennemann e Petrucio (2010), a Lagoa do Peri apresenta uma homogeneidade espacial (horizontal e vertical) em todas as estações do ano para todos os parâmetros abióticos. Esta característica está atribuída à forte influência dos ventos que promove a movimentação da água de fundo-superfície, promovendo a homogeneidade da água. Sendo assim, devido a homogeneidade espacial da lagoa, a partir do ano de 2012, todos os nutrientes foram analisados somente na estação central (Ver Figura 1, estação 1).

Alíquotas de 500mL de água foram filtrados a vácuo e os filtros (0.7 µm, Whatman GF/F) foram posteriormente congelados posterior análise de determinação de concentração de

fitopigmentos. Os valores de precipitação, velocidade do vento e temperatura do ar foram fornecidos pelo Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA) a qual está localizada sob as coordenadas 27°40'19.87"S; 48°33'17.75"O, sendo esta estação a mais próximo ao local de estudo.

#### 4.4.2 Nutrientes

Para a determinação de nutrientes totais (fósforo e nitrogênio) uma alíquota da amostra bruta trazida do campo na mesma data e hora da coleta dos parâmetros descritos no item 4,4.1. Estas amostras trazidas foram imediatamente congeladas a -20°C em frasco de polietileno. Para a determinação destes foram empregados métodos espectrofotométricos clássicos e bastante utilizado em estudos de limnologia. Em todas as análises foi utilizado um espectrofotômetro de feixe simples Micronal B582 e cubetas de quartzo de 1 ou 5cm de trajeto óptico. Para cada nutriente analisado foram construídas curvas de calibração com concentrações conhecidas (absorbância x concentração), e então a partir das quais foram obtidas equações para cálculo da concentração final do respectivo nutriente através do valor de absorbância lido. As metodologias para análise de cada nutriente em laboratório foram apresentadas a seguir:

##### 4.4.2.1 Nitrogênio Total

Para determinar as concentrações do nitrogênio total, (conforme metodologia proposta por Valderrama,1981), as amostras brutas de água foram autoclavadas a 120°C por uma hora em presença de um agente oxidante e, e após resfriamento, ocorre a redução de nitrato e nitrogênio por cadmio amalgamado com cloreto de mercúrio. Após a redução, o nitrito é complexado com sulfanilamida e n-naftil etilenodiamida dihidrocloreto, formando um composto nitrogenado colorido de cor róseo e a determinação é feita espectrofotometricamente a 543nm.

##### 4.4.2.2 Fósforo Total

O fósforo total apresenta a medida do conteúdo de todas as formas de fósforos presentes na água (dissolvidas e particuladas). De acordo com a metodologia de Strickland e Parsons (1960), os íons totais de fósforo formam um complexo amarelo com o molibdato de amônia em solução ácida depois de serem autoclavadas por uma hora em 120° C em presença de um agente oxidante, o qual é reduzido a um complexo azul em presença de ácido ascórbico, quando estimulado por antimônio tartarato de potássio. A absorbância a ser lida espectrofotometricamente para determinação de fosforo total é de 882 nm (nanômetros).

#### 4.4.3 Clorofila-*a*

Para a determinação das concentrações de fotopigmentos foi empregado o método proposto por Lorenzen (1967). Foram filtrados 500mL das amostras de água em filtros de vidro Milipore AP40, os quais foram imediatamente secos em dessecador e congelados ao abrigo de luz. A extração dos pigmentos foi feita com álcool 90% por aproximadamente 24 horas em ausência de luz. Após este período, as amostras foram centrifugadas e os sobrenadantes tiveram suas absorvâncias determinadas em espectrofotômetro da marca Pro Tools, modelo UV/VIS 190- 1100nm UV 1600 nos comprimentos de onda 750 e 663nm e, após acidificação com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 N, lidas novamente em 750 e 663nm para determinação da concentração de feofitina. Os valores obtidos foram utilizados para o cálculo das concentrações de clorofila-*a* de acordo com a equação (1), a seguir (Lorenzen, 1967):

$$\text{clorofila-}a = 26,7 (663 - 663ac) v T^{-1} V^{-1} \quad (1)$$

Onde,

663 = valor de absorvância obtido no comprimento de onda 663 nm;

663ac = valor de absorvância obtido no comprimento de onda 663 nm, após adição de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 N;

v = volume de acetona utilizado, em mL (10 mL);

T = trajeto óptico percorrido no espectrofotômetro, em cm (largura da cubeta = 1 cm);

V = volume de amostra filtrado, em L (0,5 L).

#### 4.5 Determinação do grau de trofia e índices de estado trófico (IET)

Para a determinação do grau de trofia foram adotados dois (2) índices: TSI de Carlson modificado por Toledo *et al.* (1983) e Lamparelli (2004). O índice modificado por Toledo *et al.*, (1983) tentou adaptar para corpos d'água tropicais as equações do índice proposto por Carlson (1977). As equações (2), (3) e (4) propostas podem ser observadas abaixo:

$$\text{TSI (SD)} = 10 \cdot [6 - (0,64 + \ln \text{SD}) / \ln 2] \quad (2)$$

$$\text{TSI (CHL)} = 10 \cdot [6 - (2,04 - 0,695 \cdot \ln \text{CHL}) / \ln 2] \quad (3)$$

$$\text{TSI (TP)} = 10 \cdot [6 - \ln (80,32 / \text{TP}) / \ln 2] \quad (4)$$

Onde,

SD = Profundidade do disco de Secchi, em m;

CHL = Concentração de clorofila-*a*, em µg/L;

TP = Concentração de Fósforo Total, em µg/L.

Lamparelli (2004) adaptou as equações dos índices de estado tróficos propostos anteriormente em ambientes tropicais para ambientes subtropicais, mais precisamente lagos de

uso para abastecimento público, permitindo a classificação dos corpos d'água de acordo com um sistema de limites entre classes de trofia. (Tabela 1).

Tabela 1: Classificação de corpos d'água tropicais de acordo com as concentrações de Fósforo Total, clorofila-*a* e Transparência da coluna d'água. Fonte: Adaptado de Lamparelli, 2004.

Nível Trófico	Fósforo Total (µg/L)	Clorofila- <i>a</i> (µg/L)	Ponderação IET
Ultraoligtrófico	≤0.008	≤1.17	≤47
Oligotrófico	0.008<P≤0.019	1.17<Cla≤3.24	47<IET≤52
Mesotrófico	0.019<P≤0.052	3.24< Cla ≤11.03	52<IET≤59
Eutrófico	0.052<P≤0.120	11.03< Cla ≤30.55	59<IET≤63
Supereutrófico	0.120<P≤0.233	30.55< Cla ≤69.05	63<IET≤67
Hipereutrófico	>0.233	>69.05	>67

As equações (5), (6) e (7) propostas por Lamparelli (2004) podem ser observadas abaixo:

$$IET (TP) = 10 \cdot (6 - (1,77 - 0,42 \times (\ln TP) / \ln 2)) \quad (5)$$

$$IET (CHL) = 10 \cdot (6 - ((0,92 - 0,34 \times (\ln CHL)) / \ln 2)); \quad (6)$$

$$IET = [ IET (TP) + IET (CHL) ] / 2 \quad (7)$$

Onde,

TP = Concentração de Fósforo Total, em µg/L.

CHL = Concentração de clorofila-*a*, em µg/L;

#### 4.6 Análise de dados e séries temporais

Para este estudo, utilizamos o conjunto de dados de parâmetros físico-químicos e fitopigmentos relacionados a qualidade da água da Lagoa do Peri do período de janeiro de 2008 a dezembro de 2018, completando exatos dez (10) anos de monitoramento mensal, gerando um total de 120 registros. Foram selecionados para análise os dados de fósforo total, nitrogênio total, clorofila-*a*, temperatura da água, transparência da água, profundidade e precipitação. Para as análises das séries temporais, os dados foram organizados em planilhas eletrônicas no software *Excel*, importados ao ambiente R (R-Core Team, 2019). Foram elaborados gráficos anuais dos parâmetros analisados e procurou-se *outliers* (também conhecidos como observações incomuns à série temporal) e deslocamentos súbitos, tendências paramétricas, padrões sazonais, ciclos sazonais, movimentos cíclicos, variações aleatórias, mudanças verificadas, sejam elas aditivas ou multiplicativas, de acordo com a magnitude da mudança dos parâmetros identificados na série temporal conforme Morettin e Tolo (2006); Teetor (2011); Hyndman e Athanasopoulos (2018).

Para identificar variações dos parâmetros estudados entre os anos de 2008 a 2018 realizou-se um modelo linear generalizado (GLM) para cada variável com a família gaussiana ou gaussiana com função de ligação logaritma, de acordo o ajuste das variáveis estudadas. Após a criação do GLM, foi realizado um teste *posteriori* com a função *emmeans*. Correlações de Pearson foram utilizadas para relacionar os parâmetros de qualidade de água e uma análise de componentes principais (PCA) foi aplicada para avaliar a importância de cada variável mensurada na variação total. Os dados foram padronizados com a função *destand* e testados quanto a colinearidade, dependência e interação entre as mesmas com a função *vif*. Na sequência, com a função *rda*, foram criados os scores e novas componentes dos vetores que foram plotadas com a função *prcomp* e *autoplot* do pacote *ggplot2* do R-Core Team (2019).

#### 4.7 Modelagem preditiva

A modelagem dos parâmetros tróficos selecionados foi realizada através de um modelo aditivo generalizado por meio do pacote *mgcv* disponibilizado desenvolvido por Wood (2017). A principal vantagem do GAM com pacote *mgcv* é que ele pode fazer a validação cruzada e permite modelagem mista aditiva generalizada (GAMM), incluindo correlações espaciais e temporais, bem como dados aninhados e várias heterogeneidades. Com o pacote *mgcv* foram ajustados modelos aditivos generalizados (GAM's) utilizando valores das concentrações de clorofila-*a* como variável resposta. Nitrogênio total, fósforo total, transparência da coluna d'água, temperatura da água e a profundidade no ponto coletado foram parâmetros utilizados como variáveis preditoras.

O problema de multicolinearidade foi abordado selecionando as variáveis que reduziram o fator de inflação de variação (VIF). Este fator de inflação da variação indica quanto da variação ou padrão estimado desvio em um coeficiente estimado aumentou devido à sua correlação com outras variáveis no modelo. Somente variáveis com valores de  $VIF < 3$  foram mantidas, indicando que o desvio padrão estimado foi inflado menos de três vezes o valor esperado na ausência de colinearidade. Em sequência o procedimento de seleção do modelo foi realizado com base nas informações da validação cruzada generalizada (GCV). A pontuação GCV é a pontuação minimizada de validação cruzada generalizada do GAM ajustado. O GCV é usado para a seleção de suavidade no pacote *mgcv* para R. Os parâmetros de suavização são escolhidos para minimizar o erro de previsão podendo ser usado para estimar o erro de previsão que se faz. O valor relatado é a pontuação GCV minimizada quanto menor o valor de GCV melhor é o ajuste do modelo criado.

A escolha do modelo que mais se ajustou aos dados também foi realizada pela interpretação dos resultados dos modelos criados. Gráficos de normalidades foram utilizados para verificar o desvio dos resíduos, gráfico de cruzamento dos resíduos por seus respectivos preditos, e histograma dos resíduos também auxiliaram para a interpretação dos modelos criados. Um modelo de previsão foi realizado usando a série temporal da Clorofila-*a* dos anos de 2007 a 2008 para prever valores de concentração de Clorofila-*a* para 2017, 2018 e 2019 com base nas previsões de médias móveis integradas autoregressivas (ARIMA). Consideramos uma média móvel sazonal utilizando o pacote *forecast* para prever possíveis mudanças nos próximos anos (Hyndman, 2016). Os valores previstos pelo modelo foram plotados junto com valores observados em 2008 a 2018.

#### 4.8 Cenários futuros

Alguns cenários futuros foram criados afim de verificar possíveis mudanças (aumento ou diminuição) nas concentrações de clorofila-*a* na lagoa do Peri. Estes cenários foram baseados em valores já observados nas séries temporais, associados com possíveis influências de fenômenos *El niño* e *La Niña*. Para o cálculo dos anos de ocorrência do fenômeno ENOS (El Niño – Oscilação Sul) foi utilizada a metodologia apresentada em Trenberth (1997). Os dados de TSM são provenientes do conjunto de dados ERSST-v5 (Smith e Reynolds, 2003). As climatologias são obtidas a partir de uma média dos 30 anos anteriores para cada período de 10 anos, por exemplo, a primeira climatologia (1861-1890) é utilizada para o período de 1891 até 1900, enquanto a décima sétima e última climatologia (período de 1981-2010) é utilizada para o período atual (2011- presente).

Para tal cálculo foi considerado o período entre agosto de um ano até julho do ano seguinte. Anos onde a intensidade do fenômeno foi considerada forte são aqueles em que a anomalia de temperatura da superfície do mar (TSM) foi superior a 1,5°C em algum dos meses pertencentes à série, enquanto os episódios de intensidade moderada tiveram valores inferiores a 1,5°C mas superiores a 1,0°C, e por fim, os episódios de intensidade fraca são aqueles com valores inferiores a 1,0°C mas superiores a 0,5°C.

Capítulo 1

**Temporal dynamics of trophic parameters relevant: 10 years of study in a  
subtropical coastal lagoon dominated by cyanobacteria**

Felippe Luiz Dalpiaz  
Aurea Luiza Lemes da Silva  
Luís Carlos Pinto de Macedo Soares  
Mauricio Mello Petrucio



Artigo a ser submetido ao periódico: “Hydrobiologia”, fator de impacto ISI: 2.325, Qualis CAPES Biodiversidade: A1.

**Temporal dynamics of the main trophic parameters: 10 years of study in a subtropical coastal lagoon dominated by cyanobacteria**

<sup>1</sup>DALPIAZ<sup>1</sup>, F.L.; <sup>2</sup>LEMES-SILVA, A.L.; <sup>3</sup>MACEDO-SOARES, L.C.P.; <sup>4</sup>PETRUCIO, M.M.

<sup>1,2,4</sup> Laboratório de Ecologia de Águas Continentais, Departamento de Ecologia e Zoologia, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Santa Catarina. Campus Universitário s/n, Trindade, Florianópolis, SC, Brazil CEP. 88040-970.

<sup>3</sup> Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Departamento de Ecologia e Zoologia, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Santa Catarina, 88040-900 Florianópolis, Santa Catarina, Brazil

**Abstract**

Studies aimed at understanding how changes in trophic parameter changes interfere with the structure of aquatic communities and are crucial for visualizing the effects of environmental changes on the functioning of lake ecosystems. In recent years, several studies have been performed in these environments, in order to understand the dynamics of determined trophic parameters (nitrogen, phosphorus and chlorophyll-*a*). We collected water samples from this ecosystem and determined abiotic parameter values (TN - total nitrogen; TP - total phosphorus; Cla - Chlorophyll-*a*; WT - Water temperature; depth - depth of collected sample; Secchi - transparency of water column; Rainfall - cumulative collection of 7 days before sampling) followed by analyzed with time series (n = 120 records per variable). Secchi and Cla described the highest positive correlation between the parameters and TN and Secchi. The nutrient media indices (TN and TP) and clause levels were different between the years analyzed, with higher values recorded from 2016 to 2018. An analysis of the principal components (PCA) showed 48.78% of the variation of the data analysis. Secchi, Cla and TN were the variables that

contributed the most to the PC1 axis, while to the PC2 axis, the depth, TP and WT contributed the most. The GAM model shows 43% explanation, taking into account the TN, WT, Sechci and Secchi variations as predictors for the Cla analyzes. The ARIMA model forecast presented an evolution of the TN and Cla tests, suggesting a change in the trophic state in Peri Lake from 2018 to 2020. Prediction models could be help to better understand the use of the main trophic parameters and aquatic ecosystems. Therefore, knowledge of the evolutionary patterns of aquatic environments could be support actions aimed at guaranteeing ecosystem services from water.

**Keywords:** Relevant Trophic Parameters; Eutrofization; Peri Lake; Generalized Additive Models (GAM);

<sup>1</sup> Corresponding author:

Felippe Luiz Dalpiaz

E-mail: [felippedalpiaz@gmail.com](mailto:felippedalpiaz@gmail.com)

Phone + 55 47 9 9969 8508

## INTRODUÇÃO

As lagoas costeiras são ecossistemas lênticos, distribuídos mundialmente e normalmente dividindo espaço com as ocupações antrópicas - característica de zonas costeiras. Localizadas em regiões de interface entre ecossistemas terrestres e oceânicos, a baixa profundidade e a suscetibilidade às alterações climáticas são características predominantes e difusas nestes ecossistemas. Tais ambientes são separados do oceano por uma barreira ou conectados a este por um ou mais canais ou pequenas baías que permanecem abertas pelo menos intermitentemente, podendo apresentar diferentes níveis de salinidade, desde águas permanentemente doces até hipersalinas (Esteves *et al.*, 2008; Tundisi e Matsumara-Tundisi, 2008; Kennish e Paerl, 2010).

Dentre as finalidades dos estudos em lagoas costeiras, diversos pesquisadores vêm estudando o uso de determinados parâmetros tróficos na dinâmica de qualidade de água destes ambientes (Jones *et al.*, 2017; Foley e Betteron, 2019; Tibebe *et al.*, 2019). Hennemann e Petrucio (2011) analisaram nutrientes (fósforo e nitrogênio), clorofila-*a*, transparência da água e oxigênio dissolvido para entender a dinâmica de parâmetros destes parâmetros sem um lago subtropical. Tiebe *et al.*, (2019) investigaram variações espaço-temporais de parâmetros de nutrientes (fósforo, nitrogênio, nitrato e fosfato), temperatura, pH, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos, transparência da coluna d'água e clorofila-*a* para o gerenciamento de um lago na Etiópia. Adamovich *et al.*, (2019) estudaram as relações entre variações na abundância

de bactérias e o estado trófico em três lagos da Bielorrússia. Os autores mediram carbono orgânico dissolvido (DOC), fósforo total e a demanda biológica de oxigênio (DBO) para entender as relações dos lagos por meio de um monitoramento de 20 anos.

Nos últimos anos, tem se observado que estudos com base nos dados dos parâmetros tróficos tem se tornado uma eficiente ferramenta para o monitoramento em lagoas costeiras (Hennemann e Petrucio, 2011; Tonetta *et al.*, 2013; Tonetta *et al.*, 2015A; Tonetta *et al.*, 2015B). Parâmetros tróficos são variáveis utilizadas para avaliar cada nível trófico e o ecossistema como um todo. Eles evidenciam a estrutura de uma comunidade aquática, especialmente os produtores primários, influenciando na distribuição e na abundância de toda a estrutura aquática (Tiebe *et al.*, 2019; Adamovich *et al.*, 2019). Entre os parâmetros tróficos (bióticos e abióticos) mais relevantes, destacam-se os nutrientes (nitrogênio e fósforo) e clorofila-*a* (Hennemann e Petrucio, 2011). Estes parâmetros têm o potencial de alterar significativamente a qualidade da água, especialmente as concentrações de nitrogênio e fósforo, que são os dois principais nutrientes envolvidos no processo de eutrofização de corpos d'água.

Uma possibilidade de compreensão destas dinâmicas é a análise de séries temporais de parâmetros de qualidade de água físicos, químicos e biológicos. Por meio destas longas séries de dados podem ser observados padrões que resultem em modelos de comportamento, modelos de eutrofização, modelos de predição de evolução do acúmulo de nutrientes em lagos e demais corpos hídricos. Sendo assim, este trabalho busca testar a hipótese de que mudanças nas concentrações de fósforo total e nitrogênio total associados com aumento da clorofila-*a* poderia estar ocasionando uma mudança de estado trófico na Lagoa do Peri, baseado em uma série temporal de 10 anos de monitoramento mensal. Neste estudo nós investigamos se mudanças em determinados parâmetros abióticos (ex. concentrações de fósforo total e nitrogênio total associados com aumento da clorofila-*a*) poderia estar ocasionando uma mudança de estado trófico na Lagoa do Peri, mudando de oligotrófico para mesotrófico podendo chegar até mesmo em eutrófico.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Área de Estudo**

A lagoa do Peri é uma lagoa costeira subtropical localizada a sudeste da ilha de Santa Catarina (Fig.1) entre as latitudes Sul de 27°42'59" e 27°46'45" e as longitudes Oeste 48°30'33" e 48°31'59" (Oliveira, 2002), inserida em um dos últimos remanescentes de Floresta Ombrófila Densa da ilha de Santa Catarina. Apresenta um espelho d'água de 5,7 km<sup>2</sup>, sendo

rodeada por morros cobertos por vegetação de Mata Atlântica e uma restinga típica de vegetação litorânea, a qual a mantém separada do Oceano Atlântico (Silva, 2000). A Lagoa apresenta um perímetro de 11.064 m, comprimento máximo efetivo de 4 km, largura máxima efetiva de 1,54 km para o setor norte e 1,87 km para o setor sul, uma profundidade máxima de 11 m na sua porção central e profundidade média de 7 m (Oliveira, 2002), recebendo a drenagem de dois rios: Cachoeira Grande e Ribeirão Grande (rio Sertão), que nascem no alto dos morros e desembocam na lagoa (Neto & Madureira, 2000)

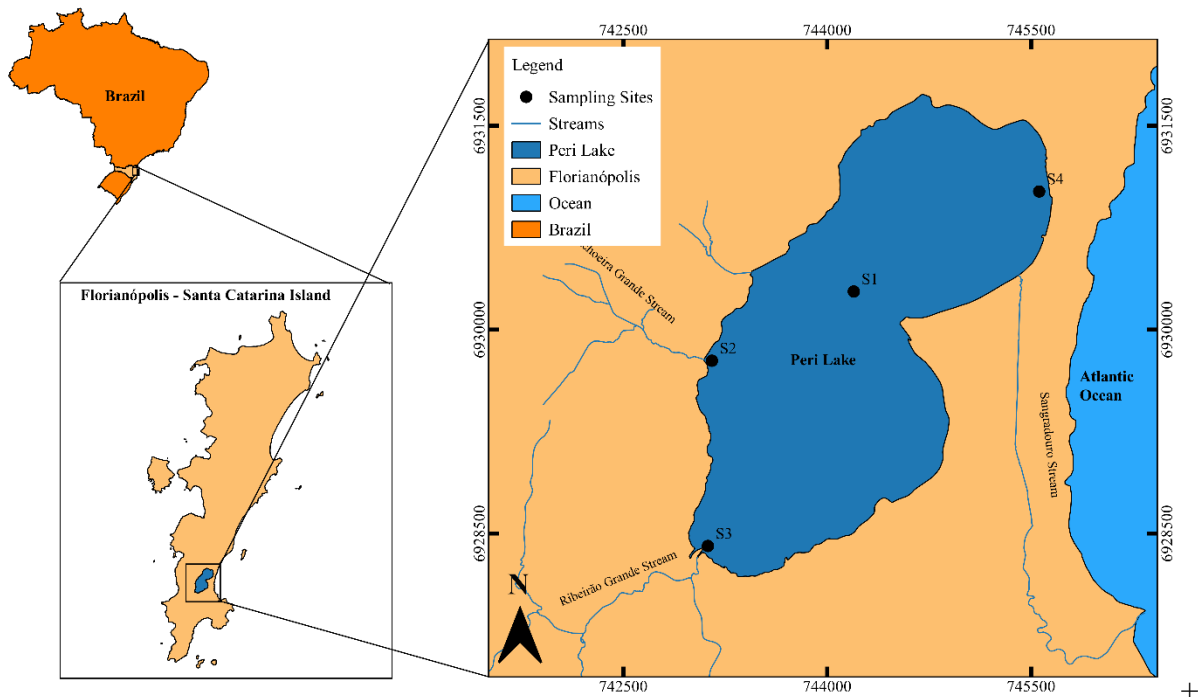


Figura 1: Mapa da bacia hidrográfica da Lagoa do Peri (área destacada em cinza), sul do Brasil com a localização do ponto amostral do monitoramento de qualidade de água. Estação amostral 1 (S1), Estação amostral 2 (S2), Estação amostral 3 (S3) e Estação amostral 4 (S4). Fonte: O autor.

A Lagoa do Peri encontra-se a aproximadamente três metros acima do nível do mar, o que a classifica como “lagoa suspensa” (Poli *et al.*, 1978) e de água doce e mantém contato permanente com o mesmo através de um canal de despejo (Rio Sangradouro) com fluxo unidirecional lagoa → mar. Desde os anos 2000, diversos estudos neste ambiente aquático envolvem temáticas de qualidade da água, comunidades fitoplanctônicas e zooplantônicas (Tonetta *et al.*, 2015a; Fuentes e Petrucio, 2015; Hennemann *et al.*, 2015; Tonetta *et al.*, 2015b; Tonetta *et al.*, 2016; Hennemann e Petrucio, 2016), e macroinvertebrados bentônicos (Pires *et al.*, 2015; Lemes-Silva *et al.*, 2016). Além de estudos sobre as comunidades aquáticas, nos últimos anos estudos sobre os processos ecossistêmicos vêm sendo desenvolvidos, tais como

os estudos sobre decomposição de matéria orgânica nos rios tributários da lagoa (Lisboa *et al.*, 2015; Lemes-Silva *et al.*, 2016). A lagoa e seu entorno (incluindo quase toda a sua bacia de drenagem), com uma ocupação humana restrita desde 1981. Desde 2000, a lagoa vem sendo utilizada para o abastecimento de água potável para quase 100.000 habitantes no ambiente estudado

#### Coleta e análise de parâmetros físico-químicos

As medidas dos parâmetros abióticos (temperatura da água, condutividade elétrica, pH, concentração de oxigênio dissolvido e profundidade do ponto coletado) foram realizadas de janeiro de 2008 a dezembro de 2018 com o auxílio de sondas multiparâmetros (Marca YSI-85 professional Plus e analisador portátil de profundidade da marca Speedtech, modelo SM5). No desenho amostral das coletas de profundidade foram realizadas em uma área próxima do centro do lago, todavia em 2014 a 2018 a estação amostral (S1) foi fixada com auxílio de boias e poitas o que fez com que os dados de profundidade do local de coleta fossem exatamente no mesmo local. As demais medidas foram efetuadas em uma profundidade de 10% de luminosidade (profundidade do desaparecimento visual do disco de Secchi). Para avaliar a alcalinidade, amostras de água foram coletadas e transportadas para o laboratório. A determinação da alcalinidade foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Mackereth *et al.*, 1978.

Amostras de água também foram coletadas para a determinação das concentrações de fósforo (Strickland e Parsons, 1960), nitrogênio total (Valderrama, 1981) e fitopigmentos em laboratório. Para a determinação das concentrações de fotopigmentos foi empregado o método proposto por Lorenzen (1967). Os valores de precipitação, velocidade do vento e temperatura do ar foram fornecidos pelo Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA) a qual está localizada sob as coordenadas 27°40'19.87"S; 48°33'17.75"O. Para a determinação do grau de trofia foram adotados dois (2) índices: TSI de Carlson modificado por Toledo *et al.*, (1983) e Lamparelli (2004).

#### Análises estatísticas e modelagem preditiva

Com os registros da estação de amostragem S1, foram elaborados gráficos anuais dos parâmetros analisados como o intuito de verificar a presença de *outliers* e mudanças cíclicas sazonais, de acordo com a magnitude da mudança dos parâmetros identificados na série temporal conforme Morettin e Tolo (2006); Teetor (2011); Hyndman e Athanasopoulos (2018). Para identificar variações e as diferenças ao longo dos anos na série temporal dos valores de temperatura da água, nitrogênio total, fósforo total, clorofila-*a*, transparência da

água, precipitação e profundidade foi realizado um modelo linear generalizado para cada variável. Para isto, utilizou-se a família gaussiana com função de ligação logaritma, de acordo o ajuste das variáveis estudadas. Correlações de Pearson foram utilizadas para verificar a relação entre os parâmetros de qualidade de água, enquanto a Análise de componentes principais (PCA) foi aplicada para avaliar a importância de cada variável mensurada na variação total dos dados. Antes da realização das análises, a multicolinearidade entre as variáveis explicativas foi avaliada através do fator de inflação de variação (VIF). Somente variáveis com valores de  $VIF < 3$  foram mantidas (Zuur *et al.*, 2009).

A relação da concentração de clorofila-*a* com as características físico-químicas da água (nitrogênio total, temperatura da água, profundidade e transparência da água) foi ajustada através de modelos aditivos generalizados (GAM). A suavização dos modelos foi realizada pelo método *smoothing splines* do pacote *mgcv* (Wood, 2017) em linguagem R (R Core Team, 2019). Em sequência o procedimento de seleção do modelo foi realizado com base nas informações da validação cruzada generalizada (GCV). A escolha do modelo que mais se ajustou aos dados também foi realizada pela interpretação gráfica dos resultados dos modelos criados. Gráficos de normalidades, de cruzamento dos resíduos por seus respectivos preditos e histogramas dos resíduos foram utilizados para validar o modelo resultante, e auxiliaram na interpretação dos modelos criados.

#### Cenários futuros

Alguns cenários foram criados afim de verificar o efeito das mudanças no aumento ou a queda nas concentrações futuras de clorofila-*a* na lagoa do Peri. Estes cenários foram baseados em valores já observados e retirados das séries temporais, associados com possíveis influências de fenômenos *El niño* e *La Niña*. Para identificar o período de ocorrência do fenômeno ENOS (El Niño – Oscilação Sul) foi utilizada a metodologia apresentada em Trenberth 1997. Esta metodologia é aplicada pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o qual disponibiliza os períodos de *El Niño* e *La Niña* com interferência no Brasil.

## RESULTADOS

### Dinâmica de parâmetros de qualidade de água

A temperatura da água (WT) apresentou um padrão de clima subtropical com valores entre 14,6°C (julho/2011) e 28,9°C em fevereiro de 2015 ( $\bar{X} = 22,52 \pm 3,67$ ; média e desvio padrão respectivamente) conforme a Figura 3A. A temperatura da água no ano de 2013 apresentou diferença significativa com todos os anos anteriores (2008, 2009, 2010, 2011 e 2012,

$p < 0,01$ ,  $p = 0,02$ ,  $p < 0,01$  e  $p < 0,01$  respectivamente) e posteriores (2014, 2015, 2016 e 2017, onde todos apresentaram valores de  $p < 0,01$ , ver Figura 3). A precipitação acumulada de 7 dias anteriores às coletas realizadas variou de 0 mm para 137,9 mm (dezembro/2010), com uma média de  $29,17 \pm 33,52$  mm (Figura 3B).

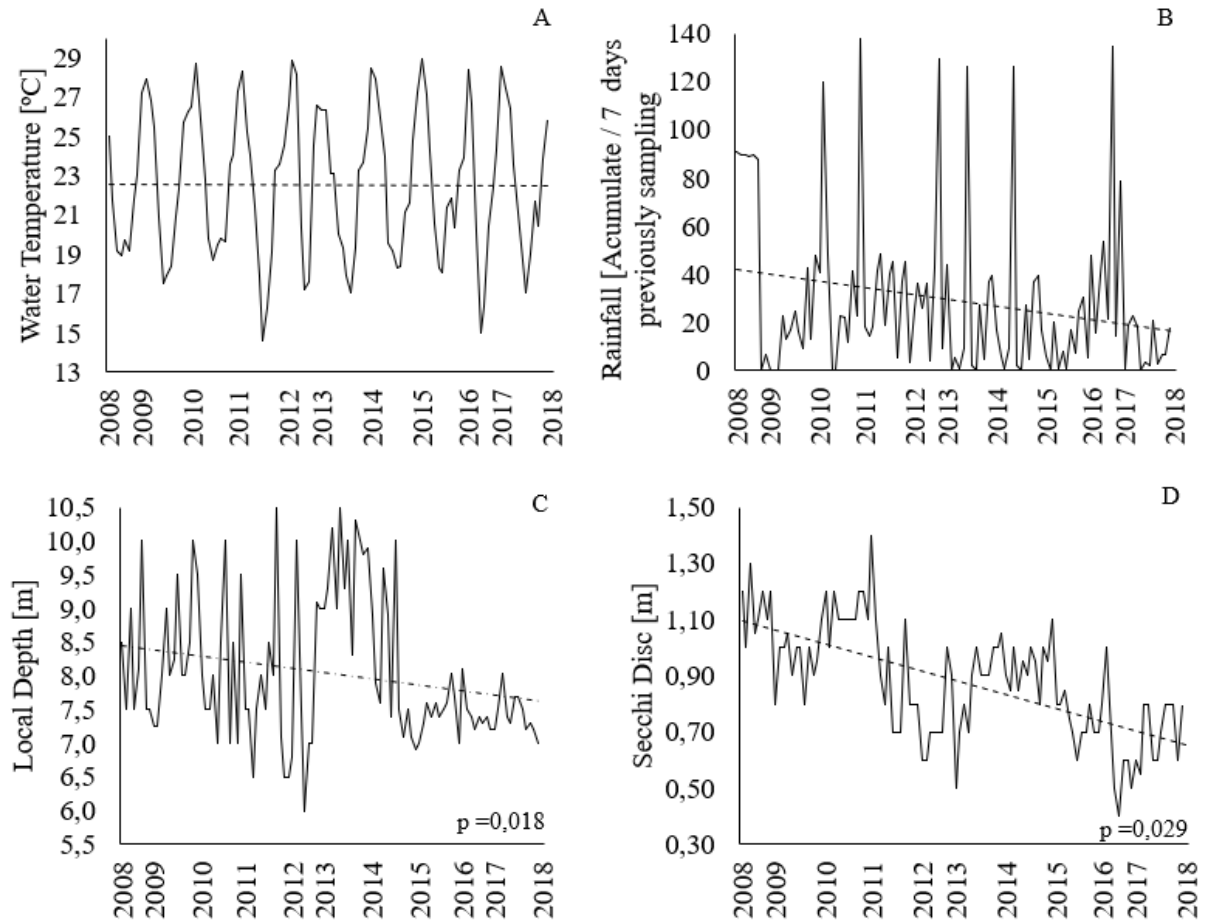


Figura 3: Série temporal dos parâmetros de qualidade de água da Lagoa do Peri entre os anos de 2008 e 2018. A: Temperatura da água em °C (WT). B: Precipitação em mm (rainfall). C: Profundidade local (Depth). D: transparência da água em m (Secchi). p: nível descritivo ou probabilidade de significância

Tabela 2: Coeficientes de correlação de Spearman (r) relacionando os nutrientes, clorofila-a com as variáveis abióticas (n = 106 observações,  $p < 0,05$ ). Abreviações: Profundidade do local de coleta (Depth), Nitrogênio total (TN), Fósforo total (TP), clorofila-a (Cla), Temperatura da água (WT), Transparência da coluna d'água (Secchi), precipitação (Rainfall).

	Depth	TN	TP	Cla	WT	Secchi	Rainfall
Depth	1.00						
TN	-0.12	1.00					
TP	-0.22	0.06	1.00				
Cla	0.07	0.27	0.01	1.00			

WT	-0.07	-0.07	0.05	0.06	1.00		
Secchi	0.28	-0.36	-0.14	-0.49	0.01	1.00	
Rainfall	0.14	-0.09	-0.01	-0.15	-0.05	0.19	1.00

Diferenças foram observadas com relação a profundidade local entre os períodos amostrados. A profundidade local variou de 6m (maio/2012) para 10,5m (maio/2013 e setembro/2011) com média ao longo dos anos de 8,04m (desvio padrão =  $\pm 1,06$ ) (Figura 3C). As maiores diferenças foram observadas entre os anos de 2008, 2012 e 2013. Observa-se que a partir dos anos de 2014 e 2015, os valores de profundidade local variaram de 7 e 8m, não apresentando mais valores como observado nos períodos anteriores à 2014 (2008 a 2013). Correlações entre a profundidade local com a transparência da coluna d'água ( $r = 0,29$ ;  $p < 0,001$ ; Tabela 2), fósforo total ( $r = - 0,22$ ) e volumes precipitados (0,14) foram observadas durante o período de estudo.

A transparência da coluna d'água permaneceu em torno de 0,87m ( $\bar{X} = 0,4 \pm 1,4$ m) na maior parte do tempo e apresentou quedas a partir do ano de 2012 ( $\approx 0,75$ m), como observado na Figura 3D. Diferenças foram observadas entre os anos amostrados ( $p = 0,029$ ). O ano de 2013 apresentou diferenças em relação ao período de 2008 a 2012 ( $p = < 0,001$ ), bem como diferenças foram observadas nos anos de 2014 à 2017 ( $p = < 0,001$ ). A transparência da coluna d'água apresentou uma correlação negativa com as concentrações de clorofila-*a* ( $r = - 0,49$ ), valores de fósforo total ( $r = - 0,14$ ) e nitrogênio total ( $r = - 0,36$ ).

As concentrações de nitrogênio total (TN) observada foram significativamente diferentes no período de estudo (de 2008 a 2018). Os valores observados variaram entre 90,57 (janeiro/2011) e 1270,69  $\mu\text{g/L}$  (agosto/2017) com média  $\bar{X} = 639,36$  e desvio padrão  $\pm 290,45$   $\mu\text{g/L}$ . TN apresentou um aumento entre os anos de 2009-2010 (Figura 4B), todavia uma queda nos anos de 2014 foi observada. Entre os anos de 2015 e 2018, as concentrações de TN apresentaram valores acima da média e acima de 1000  $\mu\text{g/L}$ , valores estes nunca registrados antes na Lagoa do Peri.

O fósforo total (TP) variou de 4,23 (agosto/2014) para 27,58 (maio/2017)  $\mu\text{g/L}$  apresentando uma média de  $\bar{X} = 13,90$  e desvio padrão de  $\pm 4,50$   $\mu\text{g/L}$ . Apesar da diferença de seis (6) vezes entre valores mínimos e máximos (Figura 4B), TP permaneceu em torno da média na maioria dos meses amostrados em 2008-2018 e não apresentou nenhum padrão sazonal com tendências de acréscimo ou decréscimo entre os anos estudados.



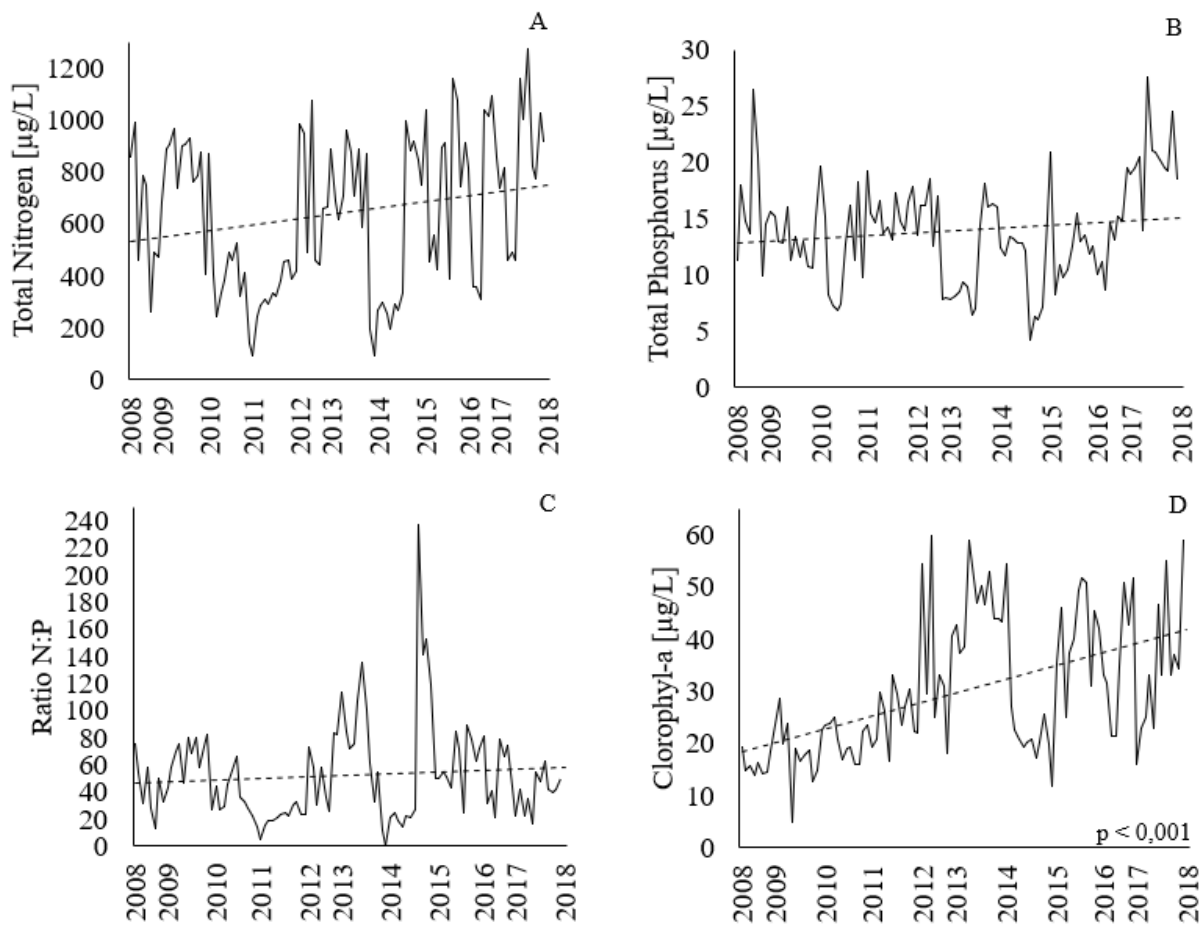


Figura 4: Série temporal dos parâmetros associados a estado trófico da Lagoa do Peri entre os anos de 2008 e 2018. A: Nitrogênio total em  $\mu\text{g/L}$ ; B: Fósforo total em  $\mu\text{g/L}$ ; C: Relação Nitrogênio: Fósforo; D: clorofila-*a* em  $\mu\text{g/L}$ .

A razão Redfield ou estequiometria de Redfield é a proporção atômica consistente de carbono, nitrogênio e fósforo encontrada no fitoplâncton marinho e nos oceanos profundos. Tal razão também é aplicada para lagoas e lagoas de tratamento biológico. Variações na relação N:P, com valores  $> 20$  foram verificados durante o período de estudo (2008 a 2018). Tal característica indica que este ecossistema aquático está limitado por fósforo durante todos os meses amostrados, exceto em alguns períodos de verão-outono de 2011 e verão-outono de 2014 (Figura 4C). Diferenças nas concentrações de clorofila-*a* foram observadas ( $p = < 0,001$ ) durante o período de estudo. As concentrações de clorofila-*a* (Cla) apresentaram variações de  $4,81 \mu\text{g/l}$  (maio/2009) para  $59,81 \mu\text{g/L}$  (março/2012) ( $\bar{X} = 29,04 \pm 13,11 \mu\text{g/l}$ ) e foram significativamente diferentes durante o período de estudo ( $p = < 0,001$ ). Os anos de 2013-2014 e 2015-2016 (Figura 4D) apresentaram as maiores concentrações de clorofila-*a*, quando comparado aos outros anos de estudo.

O resultado da análise de componentes principais realizada para verificar as relações das variáveis ambientais ao longo dos anos amostrados indicou que os dois primeiros eixos explicaram juntas 48,78 % da variação total do conjunto de dados (Figura 5 e na tabela no Apêndice III). O primeiro componente representa uma relação entre clorofila-*a* e nitrogênio total, em oposição à precipitação e transparência (a variável é secchi ou transparência no gráfico). O segundo componente representa a variação nos parâmetros físicos e químicos da água, influenciado de maneira positiva pela profundidade local e clorofila-*a*, e negativa pela temperatura da água e concentrações de fósforo total.

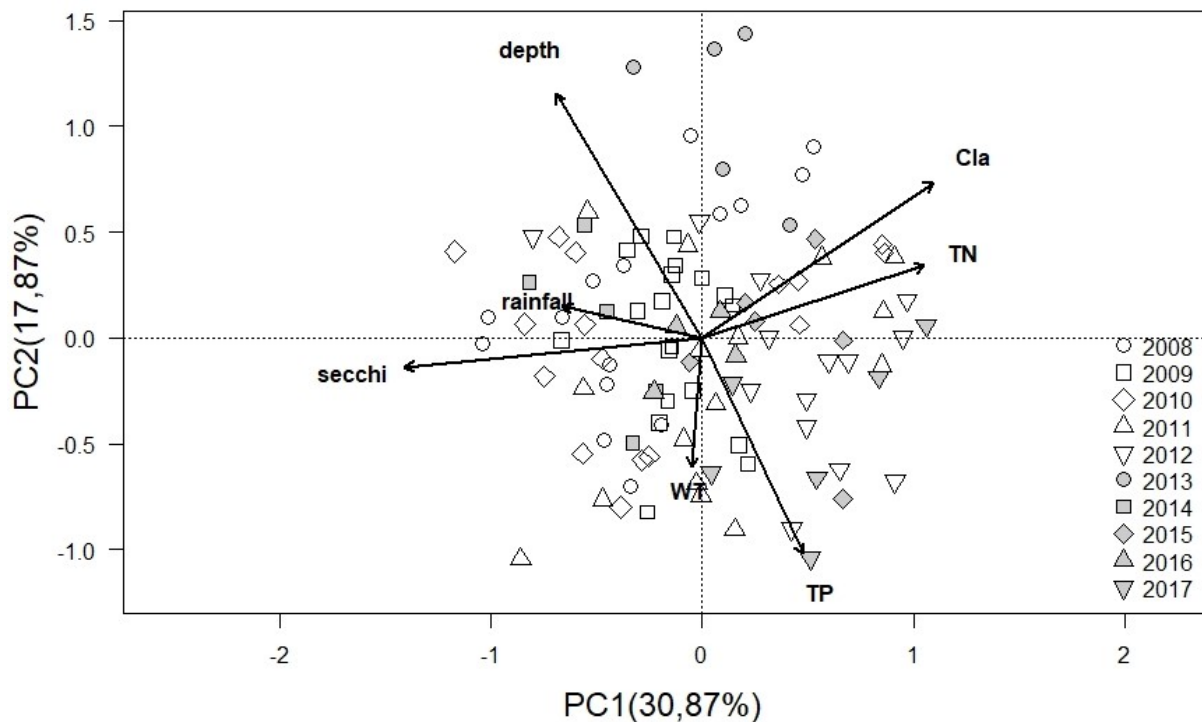


Figura 5: Resultado da Análise de componentes principais (PCA) das variáveis bióticas e abióticas da água: Cla: clorofila-*a*, TN: Nitrogênio Total, TP: Fósforo total, WT: Temperatura da água, Rainfall: Precipitação acumulada de 7 dias anteriores à coleta, Secchi: Transparência da coluna da água (m) e depth: profundidade local (m).

### Índices de estado trófico

De acordo com o índice de Toledo *et al.*, (1990) para a transparência da coluna d'água a Lagoa do Peri é classificada como um ambiente mesotrófico (84 meses amostrados, 70,59%,  $n = 119$ ). Para o nutriente fósforo, a lagoa do Peri é classificada como oligotrófico (115 meses amostrados, 96,64%) e para as concentrações de clorofila-*a*, 97,48% (116) das amostras classificam a Lagoa do Peri como um ambiente eutrófico.

Tabela 3: Número de amostras e classificação do grau de trofia e índice de estado trófico (IET) para a transparência da coluna d'água (Secchi), concentração de clorofila-*a* (Cla) e fósforo total (TP) segundo Toledo *et al.*, (1990) e Lamparelli, 2004. Os números ao lado de cada

classificação representam o número de meses que a Lagoa do Peri apresentou o respectivo grau de trofia. Fonte: O autor.

IET em função do parâmetro	Toledo <i>et al.</i> , (1990)		Lamparelli, 2004	
Fósforo Total (TP)	Oligotrófico	115	Oligotrófico	93
Transparência da Água (Secchi)	Mesotrófico	84	-	-
Clorofila- <i>a</i> (Cla)	Eutrófico	116	Eutrófico	72
IET Global	-	-	Mesotrófico	83

De acordo com a o índice adotado pela CETESB e proposto por Lamparelli (2004) durante o período de estudo, a Lagoa do Peri (Tabela 3) foi classificada como um ambiente Mesotrófico. As concentrações de TP (oligotrófico) estão inversamente proporcionais à profundidade do local de coleta na análise de componentes principais (PCA). Por outro lado, no eixo 2, a transparência da coluna d'água (mesotrófica) também está oposta as concentrações de clorofila-*a* (eutrófico) e as concentrações de nitrogênio total no eixo 1.

## Modelo

O modelo aditivo generalizado (GAM) explicou 43% da variância dos valores de clorofila-*a*, influenciados significativamente (Tabela 4) pelas concentrações de transparência da coluna d'água ( $F = 9,75$ ,  $p < 0,001$ ) e profundidade local ( $F = 2,56$ ,  $p = 0,021$ ) (Figura 6). O nitrogênio total não apresentou influência significativa no modelo ( $F = 2,22$ ,  $p = 0,0849$ ). Os testes da validação cruzada generalizada (GVC) indicou que a profundidade do local de coleta, transparência da coluna d'água e a temperatura da água devem ser mantidas para explicar a concentração de clorofila-*a* (GVC = 124,18; Pseudo  $R^2 = 35,90$ ). A validação do modelo apresentou uma suavização ajustada para o TP, transparência da água e a profundidade no local de coleta. Observamos uma relação linear para a variável temperatura sem nenhuma necessidade de ajuste de suavização no modelo GAM. Resultados do modelo aditivo generalizado para as concentrações de clorofila-*a*. A temperatura da água (WT) aparece separada das demais variáveis pois foi tratada sem suavização. Nitrogênio Total (TN), Transparência da coluna d'água (secchi) e profundidade do local de coleta (depth) aparecem logo abaixo com fator de suavização. “*edf*” são os graus efetivos de liberdade em cada variável e representa a complexidade do *smooth* (ver Figura 5). “*edf*” de valor igual a 1 apresenta uma relação linear enquanto “*edf*” de valor 2 uma relação quadrática e assim por diante, com “*edf*'s” mais altos descrevendo curvas mais onduladas. As colunas “*Ref.edf*” e “*F*” são estatísticas de

teste usadas em um teste ANOVA para testar a significância geral do *smooth* e o resultado deste teste é o valor de *p* à direita com 95% de confiança.

Tabela 4: Variáveis significantes pelo modelo com as funções de suavização aplicadas e uma relação linear (temperatura da água).

Relação Linear	Estimado	SE	Valor <i>t</i>	Valor <i>p</i>
(Intercepto)	19.42	6.58	2,90	0.004
WT	0.46	0.29	1,61	0.112
Relações Não lineares	edf	Ref.df	F	Valor <i>p</i>
TN	1.89	1.98	3.51	0.0268
secchi	3.02	3.82	9.69	< 0.001
depth	4.95	6.09	2.74	0.0159

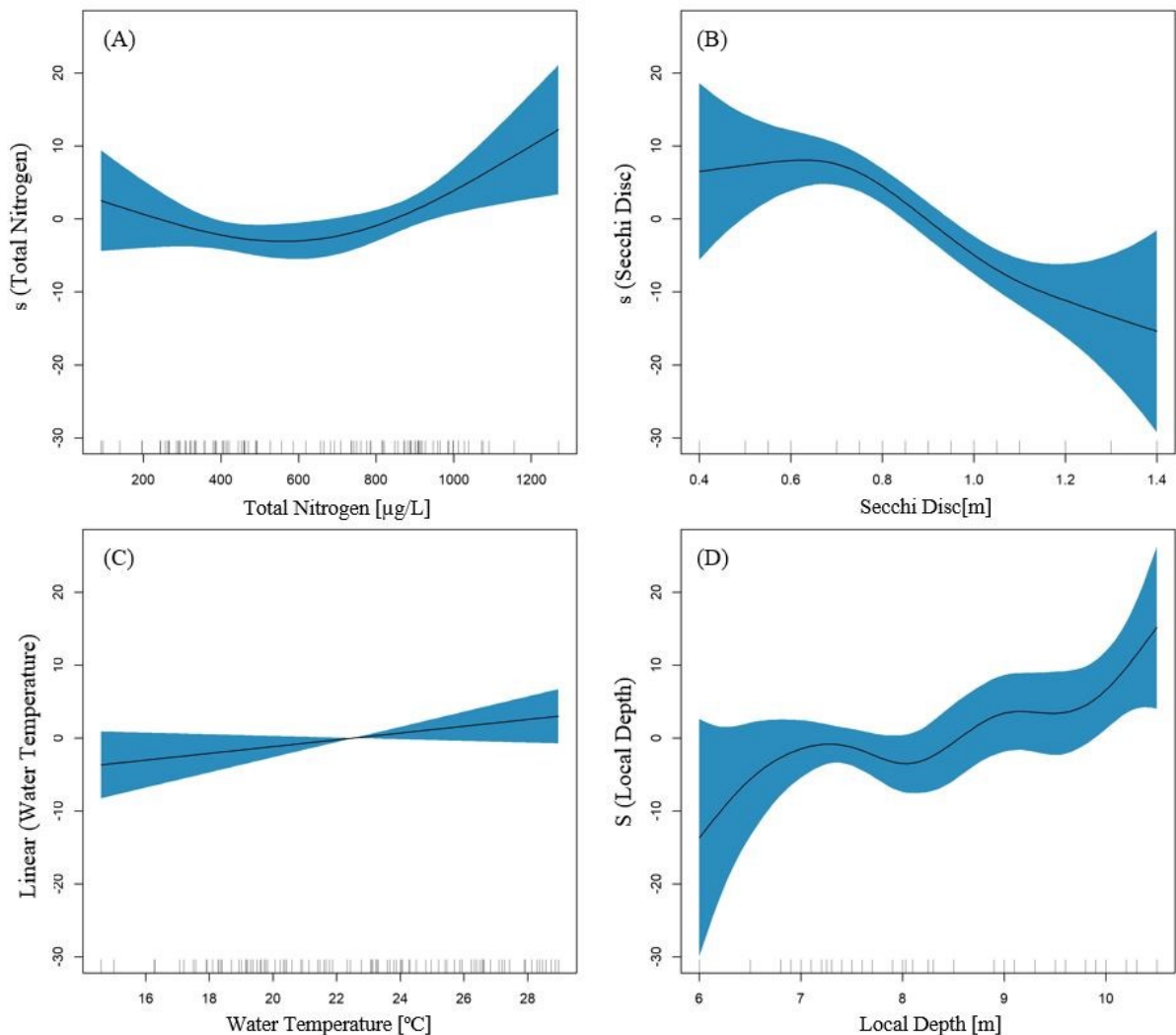


Figura 6: Resultados do modelo aditivo generalizado (GAM) que representam o efeito do Nitrogênio total (A), transparência da água (B), profundidade do local de coleta (C) e temperatura da água (D) em resposta às concentrações de Clorofila-*a*. As áreas sombreadas indicam um intervalo de confiança de 95% para as linhas suavizadas. As linhas na parte inferior do eixo “x” indicam os valores observados das variáveis.

Baseado na tendência de longo prazo o modelo de previsão de concentrações de Clorofila-*a* (AIC = 717,63; Figura 7A) apresenta uma elevação nas concentrações para os anos de 2018 e 2019, com valores de 35,89 a 55,89  $\mu\text{g/L}$  ( $\bar{X} = 44,16 \mu\text{g/l}$ ;  $\pm 4,43$ ). Para o fósforo total o modelo de previsão também apresentou aumento das concentrações (AIC = 551, Figura 7, detalhe B), com valores de 17,67 a 22,89  $\mu\text{g/L}$  ( $\bar{X} = 20,42 \mu\text{g/l}$ ;  $\pm 1,47$ ) para os anos de 2018 e 2019.

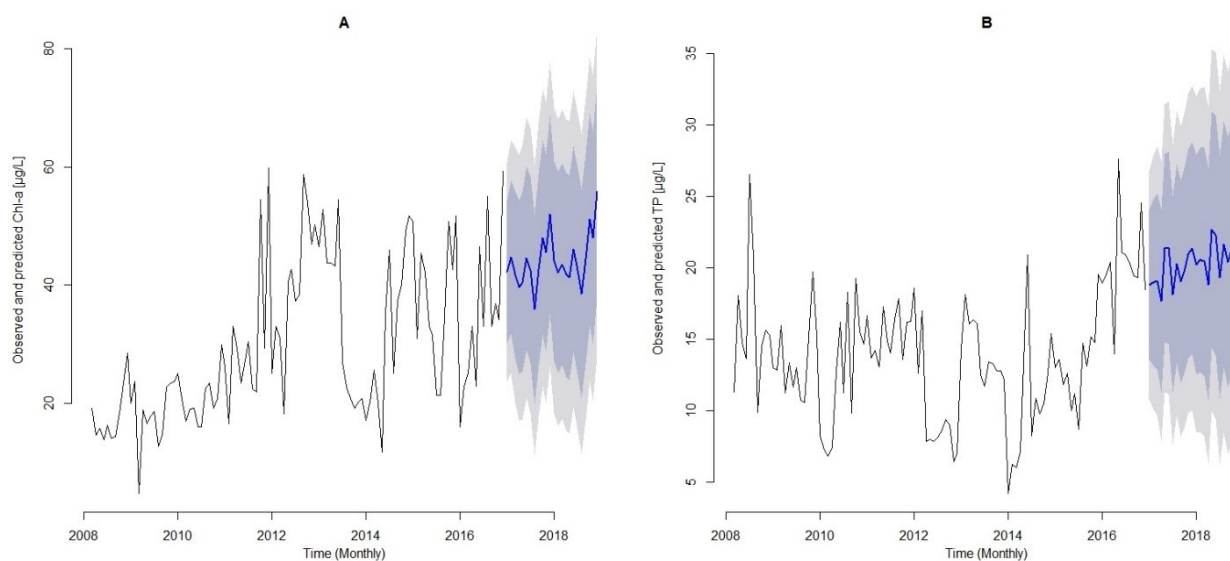


Figura 7: Valores das concentrações de Clorofila-*a* e Fósforo Total (TP) observados de janeiro de 2008 a janeiro de 2018 (linha preta) com previsões para o período de janeiro de 2018 a dezembro de 2019. As áreas sombreadas são os intervalos de confiança de 80% (Cinza claro) e 95% (cinza Escuro).

De acordo com as concentrações clorofila resultante dos modelos de Clorofila-*a* e TP forem registradas na Lagoa do Peri nos próximos anos (2018 e 2019) a predominância do índice de estado trófico será alterada. Para a Clorofila-*a* a Lagoa do Peri deixa de ser classificada como eutrófica passando para um estado de supereutrofia em 24 meses dos próximos anos. Já para o TP o a Lagoa do Peri apresentou predominância de oligotrófica entre os anos de 2008 e 2018, tendo uma evolução do estado trófico para mesotrófica em 19 meses dos 24 modelados.

De acordo com o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) o fenômeno *El Niño*- Oscilação Sul (ENOS) na região de estudo, no ano de 2009 e 2010, ocorreu de maneira moderada e forte entre os anos de 2015-2016. Já o fenômeno *La Niña*-Oscilação Sul (LNOS) ocorreu nos anos de 2007-2008, 2010-2011 e 2017-2018, todos de maneira moderada.

Durante os períodos de *El Niño*-Oscilação Sul, foram registrados valores máximos de de clorofila-*a* (51,8 µg/L) (Ago/2015).

Durante períodos de *La Niña*-Oscilação Sul, os volumes precipitados tiveram maiores correlações com os parâmetros abióticos. A precipitação acumulada em 7 dias anteriores à coleta esteve correlacionada positivamente com a profundidade do local de coleta ( $r = 0,83$ ). Volumes precipitados mensais foram correlacionados com os valores de temperatura da água ( $r = 0,59$ ) e transparência da coluna d'água ( $r = 0,53$ ), esta última correlacionada com a transparência da coluna d'água ( $r = 0,57$ ).

## DISCUSSÃO

Neste estudo nós investigamos se mudanças nas concentrações de fósforo total e nitrogênio total associados com aumento da clorofila-*a* poderia estar ocasionando uma mudança de estado trófico na Lagoa do Peri, mudando de oligotrófico para mesotrófico podendo chegar até mesmo em eutrófico. Além da previsão do padrão de clorofila. Os resultados evidenciaram uma relação comum entre os valores de temperatura da água com as características climática local. Os maiores valores de temperatura da água registrados ocorreram na primavera e no verão, provavelmente associados com maior produção de  $CO_2$  (They *et al.*, 2013). O aumento da temperatura da água é esperado devido ao aumento da energia solar incidente nesta estação do ano. Nesta época ocorre também a maior fixação de  $CO_2$ , não avaliados neste estudo. Hennemann e Petrucio (2010), registraram valores de temperatura da água de 17,2 e 29,7°C para os anos de 2014 e 2016 enquanto Tonetta *et al.*, (2017) encontrou valores de temperatura da água entre 18 e 28,2°C. Estudos recentes (Du *et al.*, 2019) também encontraram os maiores valores de temperatura da água na primavera.

Neste estudo, evidenciamos uma baixa transparência da coluna de água. Em 2010, Hennemann e Petrucio (2010) avaliaram a transparência da Lagoa do Peri e encontraram valores de 0,8m a 1,35m durante 2008 e 2009, valores estes bem próximos aos que Fuentes e Petrucio (2015) encontraram em estudos de 2008 a 2013 (valores de 0,8 a 1,1 m). Esta é uma característica comum para várias lagoas costeiras (por exemplo, Goch, *et al.*, 2005; Soares, *et al.*, 2018; Venturini *et al.*, 2015; Pereira, *et al.*, 2017; Bohn *et al.*, 2018) quando comparado a outras massas de água.

Embora a frequência e intensidade das chuvas tenham sido semelhantes ao longo do estudo, observamos uma forte redução nos volumes precipitados em períodos do ano de 2011-2012 e 2015 a 2017. A redução dos níveis da água da Lagoa do Peri foi o efeito mais óbvio da redução da precipitação total e foi principalmente causada pela diminuição da oferta na bacia hidrográfica somada com o uso da água para abastecimento. A diminuição do nível da água

pode ser um fator ambiental resposta à variabilidade interanual das chuvas relacionada a um evento de ENOS significativo o qual ocorreu nos períodos com intensidades moderadas e fortes (2010-2011 e 2017-2018).

Este ENOS foi considerado o mais forte desde a década de 1970, considerando a principal causa de severa seca no nordeste do Brasil e intensa atividade chuvas e inundações na Amazônia durante o verão austral e outono de 2012 (Marengo *et al.*, 2013), podendo ser a provável causa da diminuição dos volumes precipitados observados.

Sabe-se que o declínio do nível da água induzido por ações antrópicas ou por mudanças climáticas podem aumentar o domínio de cianobactérias e o controle dos níveis de lagos com flutuações em seus níveis podem controlar os riscos de dominância de cianobactérias (Yang *et al.*, 2016). Yan *et al.*, (2019) sugerem que alterações nas características do lago devido a mudanças no regime de chuvas produzem condições favoráveis ao crescimento de biomassa de cianobactérias, as quais dominam em função das concentrações de fósforo e os níveis do lago. Fuentes e Petrucio (2015) encontraram valores de 4,3 a 59,8 µg/L de clorofila-*a*, apresentando os maiores valores entre os anos de 2012 e 2013 do período estudado (2008 a 2013).

Estudos demonstram que desde 1996 tem-se observado a presença de algas potencialmente nocivas na lagoa do Peri (Laudares-Silva, 1999; Matthiensen e Barbosa, 2003; Grellmann, 2006; Vidal e Kruk, 2008; Brentano *et al.*, 2016). principalmente espécies filamentosas de *C. raciborskii* e *P. brevicellularis*, as quais pertencem a grupos funcionais adaptados à baixa disponibilidade de luz e baixa concentração de nutrientes. A presença destas algas foi observada em todos os ciclos sazonais avaliados (Silveira, 2013; Tonetta *et al.*, 2013; Tonetta *et al.*, 2015a). Estudos de Carey *et al.*, (2012) apontam que as cianobactérias apresentam características que conferem vantagem competitiva no que se refere à estabilidade da coluna da água (flutuabilidade), estresse leve (fotoaclimatação). Wu *et al.*, (2012) observaram aumento das taxas de crescimento de *C. raciborskii* em concentrações de fósforo (P) superiores a 0,05 mg/L. Tais fatores podem ajudar a explicar dominância de cianobactérias em ambientes mesotróficos, o qual insere-se a Lagoa do Peri (Carey *et al.*, 2012, Yan *et al.*, 2019;).

Concentrações de clorofila-*a* superior a 20 µg/L são geralmente observadas em ecossistemas eutróficos e altamente influenciados por humanos (por ex. Huszar *et al.*, 2000; Torres *et al.*, 2012). Influências humanas observadas ao longo da lagoa do Peri nas últimas duas décadas, porém o aporte de fósforo de origem antrópica é pouco significativo, especialmente

devido ao fato de que quase toda a bacia de drenagem do lago é preservada e inserida dentro de uma área de conservação com limitada influência humana.

Corpos de água com concentrações de clorofila-*a* semelhante à Lagoa do Peri geralmente têm valores de concentrações de fósforo maiores. Em um estudo em cinco lagos subtropicais rasos no Uruguai (características semelhantes à Lagoa do Peri), a concentração de TP foi consideravelmente maior do que clorofila-*a* em comparação com os valores observados na Lagoa do Peri (Pacheco *et al.*, 2010). Fragoso *et al.*, (2011) também encontrou valores de clorofila-*a* semelhantes ao nosso lago de estudo, mas em fósforo concentrações muito maiores em um lago raso subtropical no sul do Brasil.

Em relação aos nutrientes, variações das concentrações de TP observado em algumas ocasiões, pode ter relação com os ventos e a precipitação (Tonetta *et al.*, 2013). A tendência de maior concentração de TP no verão pode estar relacionada a velocidade e frequência do vento geralmente observados nos meses que compreendem as estações da primavera e verão. Concentração de TP semelhante a observada na Lagoa do Peri é geralmente encontrada em lagos tropicais e subtropicais relativamente protegidos, considerados oligotróficos e com baixa concentração de clorofila-*a*, tais como Lagoa de Cabiúnas (Marotta *et al.*, 2010), Lago Annie (Torres *et al.*, 2012) e alguns reservatórios na Austrália (Burford *et al.*, 2007). Características semelhantes a da Lagoa do Peri, apresentam semelhanças com outros lagos quando observamos conjuntos de dados com vários lagos ao redor do mundo, como o fornecido por Solomon *et al.*, (2013). Alguns lagos subtropicais mostram uma concentração de TP muito maior que a encontrada na Lagoa do Peri (James *et al.*, 2009; Fabre *et al.*, 2010; Andrade *et al.*, 2012).

Em relação às concentrações de nitrogênio total (TN), alguns períodos apresentaram menores concentração desse nutriente na água, provavelmente devido à alta pluviosidade que pode ter um efeito diluidor nas concentrações de TN e TP. Períodos de baixa precipitação (outubro/2008 a março/2009, maio a julho/2015), fazendo com que o nível da água reduzisse, podem ter influenciado nas maiores concentrações observadas no lago.

Nenhum padrão de nitrogênio total foi observado durante o período de 2007 a 2018 corroborando com os estudos de Hennemann *et al.*, (2016). Entretanto, ao contrário do que foi apresentado pelos autores, neste estudo o nitrogênio total apresentou aumento das suas concentrações, principalmente entre 2015 e 2018. Esse fenômeno pode ser explicado pela liberação de nitrogênio e fósforo do sedimento da lagoa, provavelmente associado à ressuspensão pelo vento. Tal característica é um fator vantajoso para as cianobactérias e tem um papel importante na dinâmica da clorofila-*a*.



As baixas concentrações de fósforo na Lagoa do Peri podem estar associadas à dominância de *C. raciborskii* na comunidade fitoplanctônica, que é um concorrente superior de nutrientes e luz. Resultados de Hennemann *et al.*, (2015) mostram aumento de nutrientes nos sedimentos da Lagoa do Peri em tempos mais recentes, o que pode significar que o sistema está se tornando mais eutrofizado, mas estes nutrientes estão sendo enterrados nos sedimentos não-saturados, especialmente o fósforo, por causa da coluna de água bem oxigenada. Assim, a alta concentração de clorofila neste lago subtropical parece estar relacionada à condição limitada por fósforo e a baixa transparência da coluna d'água, o que provavelmente favorece a dominância de *C. raciborskii*, especialmente em temperaturas mais altas do verão, e leva a altas concentrações de clorofila-*a* mesmo em um ambiente com baixo teor de nutrientes dissolvidos (Hennemann *et al.*, 2016).

De acordo com a razão de massa de Redfield (N: P = 7,2: 1), Guildford e Hecky (2000) propuseram razões molares N:P para determinar se lagos e oceanos são limitados em nitrogênio (razão N:P < 20) ou limitados em fósforo (razão N:P > 50). A baixa contribuição do aporte de biomassa ricos em nutrientes dos arredores da Lagoa do Peri, bem como uma coluna de água oxigenada, mantendo o fósforo ligado ao sedimentos, são possíveis explicações para essa situação na lagoa.

Ambientes com razões N:P baixas são indicativos de eutrofização podendo favorecer as florações de cianobactérias já que o crescimento do fitoplâncton passa a ser limitado pela disponibilidade relativa do nitrogênio favorecendo o crescimento de espécies capazes de fixar o nitrogênio atmosférico (Cotovicz Júnior, 2013). Outros estudos verificaram a dominância de cianobactérias em baixas razões N:P, próximos a 15:1 (Havens *et al.*, 2003). Pode haver, ainda, diferenças dentro de uma mesma classe, como é o caso das cianobactérias. Cianobactérias não-fixadoras de N parecem dominar ambientes com alta razão N:P, enquanto que as espécies fixadoras dominam ambientes que sejam limitados por este nutriente, ou seja, ambientes com baixa razão N:P = 10:1 (Abell *et al.*, 2010).

Com o modelo aditivo generalizado nós podemos entender os comportamentos das concentrações de nitrogênio total, temperatura da água, transparência da água e profundidade as quais foram responsáveis por prever concentrações de clorofila-*a*. Cenários futuros modelados apresentam valores com tendência de crescimento nas médias de concentrações de clorofila-*a* e TP, os quais são responsáveis por classificar a Lagoa do Peri como eutrófica para TP e supereutrófica para Cla, promovendo uma mudança de estado trófico neste ambiente.

Silva *et al.*, (2016) realizaram modelagem para simular o impacto de alterações na bacia hidrográfica sobre a dinâmica do fitoplâncton na Lagoa da Pampulha (Belo Horizonte, MG). O modelo foi calibrado para fazer simulações da temperatura da água, nitrogênio, fósforo e a biomassa do fitoplâncton, representada pela concentração de clorofila-*a*. O modelo apresentou que os organismos fitoplanctônicos apresentam perturbações em eventos de desestratificações térmicas, como também apresentado no trabalho de Chang *et al.*, (2015) que apresenta que o aumento da temperatura, favorece a depleção de oxigênio no fundo e o fluxo de limitação de nutrientes para o crescimento de fitoplâncton, resultando num risco mais elevado de proliferação fitoplanctônica e eutrofização.

Cha *et al.*, (2014) desenvolveram um modelo para prever a concentração de cianobactérias no Lago Paldang, na Coreia do Sul com base nos parâmetros temperatura da água, concentração de sólidos suspensos e vazão, apresentando a temperatura e o tempo de residência como os parâmetros que mais influenciaram para a abundância de cianobactérias.

## **CONCLUSÃO**

Parâmetros de qualidade de água avaliados na Lagoa do Peri durante 10 anos apresentaram um padrão sazonal de variação de temperatura e chuvas bem distribuídas ao longo dos meses amostrados, características estas de climas subtropicais o qual está inserido este ecossistema. Observamos algumas amplitudes de nutrientes (fósforo e nitrogênio total) bem como concentrações de clorofila-*a*, os quais estão associados principalmente a temperatura da água. Por outro lado, variações significativas foram observadas entre os anos amostrados, com últimos três anos (2015-2017) em comparação com o restante do período de 2008-2014, especialmente em relação a clorofila-*a*, nitrogênio e fósforo total. O lago mostrou uma condição limitação de fósforo durante a maioria período do estudo e uma correlação positiva entre as concentrações de clorofila-*a* e nitrogênio total.

Diferenças climáticas entre os anos, principalmente chuvas e temperatura do ar influenciados por fenômenos de *El Niño* e *La Niña*, parecem ser fatores importantes que influenciam variação anual dos parâmetros avaliados, com correlações bem representativas. O modelo aditivo generalizado (GAM) mostrou que a clorofila-*a* parece ser controlada principalmente por temperatura da água, profundidade do local de coleta, precipitação e nitrogênio total, influenciando também a transparência da água. As evoluções das concentrações dos nutrientes e da comunidade fitoplanctônica nos forneceram subsídios para modelar as concentrações de clorofila. O modelo ARIMA apresentou uma tendência de crescimento das concentrações de clorofila-*a* e fósforo total, os quais inferem um índice de estado trófico supereutrófico e eutrófico para os respectivos parâmetros.

Estas conclusões têm importantes conseqüências para os ecossistemas costeiros, como a Lagoa do Peri, especialmente no contexto de futuras mudanças climáticas globais envolvendo temperatura elevação e alteração dos padrões de chuva e vento, bem como mudanças nos estados tróficos da lagoa. O uso de modelos de predição associados a índices globais de mudanças climáticas podem ajudar a entender melhor a dinâmica dos parâmetros tróficos relevantes e dominância e comportamento de cianobactérias em águas subtropicais de baixas concentrações de nutrientes, porém em crescimento ao longo dos anos. Outrora, o conhecimento dos padrões evolutivos deste ambiente aquático poderá subsidiar ações com objetivo de garantir a qualidade da água da Lagoa do Peri, a qual tem um importante valor para a população de Florianópolis – SC.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABELL, J.; OZKUNDAKI, D.; HAMILTON, D.P. Nitrogen and phosphorus limitation of phytoplankton growth in New Zealand lakes: Implications for eutrophication control. **Ecosystems**. Vol. 13, n. 7, p.966-977, 2010.
- ADAMOVICH, B.V.; MEDVINSKI, A.B.; NIKITINA, L.V.; RADCHIKOVA, N.P.; MIKHEYEVA, T.M.; KOVALEVSKAYA, R.Z.; VERES, Y.K.; CHAKRABORTY, A.; RUSAKOV, A.V.; NURIEVA, N.I.; ZHUKOVA, T.V. Relations between variations in the lake bacterioplankton abundance and the lake trophic state: Evidence from the 20-year monitoring. **Ecological Indicators**. Vol. 97, p.120-129, 2019.
- ANDRADE, C.F.F; NIENCHESKI, L.F.H.; ATTISANO, K.K.; MILANI, M.R. Fluxos de nutrientes associados às descargas de água subterrânea para a Lagoa Mangureira (Rio Grande do Sul, Brasil). **Química Nova**. Vol. 35, p.5-10. 2012.
- ANTHONY, J.L.; LEWIS, W.M. Low boundary layer response and temperature dependence of nitrogen and phosphorus releases from oxic sediments of an oligotrophic lake. **Aquat. Sciences**. Vol. 74, p. 611-617. 2012.
- BEM, C. C.; BRAGA, M. C. B.; AZEVEDO, J. C. R. de. Avaliação do estado trófico de um lago urbano raso. **REGA**. Vol. 10, nº 1, p. 41-50, 2013.
- BOHN, V.Y.; CARMONA, F.; RIVAS, R.; LAGOMARSINO, L.; DIOVISALVI, N.; ZAGARESE, H. E. Development of an empirical model for chlorophyll-*a* and Secchi Disk Depth estimation for a Pampean shallow lake (Argentina). **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**. Vol. 21, nº 2, p.183-191, 2018.
- BORCARD, D.; GILLET, F.; LEGENDRE, P. **Numerical Ecology with R**. New York: Springer, 2011. 319p.
- BOX, G. E. P; JENKINS, G. M.; REINSEL, G. **Time series analysis: forecasting and control**. 3ª ed.Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1994.
- BRANCO, C. W. C.; ESTEVES, F. A.; KOZLOWSKY-SUZUKI, B. The zooplankton and other limnological features of a humic coastal lagoon (Lagoa Comprida, Macaé, R.J.) in Brazil. **Hydrobiologia**, Vol. 437, n. 1, p.71-81, 2000.
- BRENTANO, D. M.; GIEHL, E. L. H.; PETRUCIO, M. M. Abiotic variables affect STX concentration in a meso-oligotrophic subtropical coastal lake dominated by *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanophyceae). **Harmful Algae**. Vol. 56, p. 22-28, 2016.

- BRIAND, J. F.; ROBILLOT, C.; QUIBLIER-LLOBERAS, C.; HUMBERT, J. F.; COUTÈ, A.; BERNARD, C. Environmental context of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) blooms in a shallow pond in France. **Water Research**. Vol. 36, 3183–3192. 2002.
- BRIAND, J.F.; LÉBOULANGER C.; HUMBERT, J.F; BERNARD, C, DUFOUR, P. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) invasion at mid-latitudes: selection, wide physiological tolerance, or global warming? **Journal of Phycology**. Vol. 40, p.231-238. 2004.
- BRICKER, S. B.; FERREIRA, J. G.; SIMAS, T. C. **An integrated methodology for assessment of estuarine trophic status**. **Ecological Modelling**. Vol 169, p. 39-60, 2003.
- BURFORD, M.A.; JOHNSON, S.A.; COOK, A.J.; PACKER, T.V.; TAYLOR, B.M.; TOWNLSEY, E.R. Correlations between watershed and reservoir characteristics, and algal blooms in subtropical reservoirs. **Water Research**. Vol.41, p. 4105-4114. 2007.
- CALIJURI, M. do C.; CUNHA, D. G. F. (Coords.) **Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.
- CARDOSO, L. S.; SILVEIRA, A. L. L.; MARQUES, D. M. L. M. Ação do vento como gestor da hidrodinâmica na lagoa Itapeva (litoral norte do Rio Grande Sul - Brasil). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Vol. 8, n. 3, p. 5-15, 2003.
- CAREY, C.C.; COTTIGHAM, K.L.; HAIRSTON, N.G.; WEATHERS, Jr. Trophic state mediates the effects of a large colonial cyanobacterium on phytoplankton dynamics. **Fundamental and Applied Limnology**. Vol. 184, n. 4, p. 247-260, 2014.
- CARPENTER, S.R.; STANLEY, E.H.; ZANDEN, M.J.V. State of the World's Freshwater Ecosystems: **Physical, Chemical, and Biological Changes**. Vol. 36: pag.75-99. 2011.
- CCME. Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: CCME **Water Quality Index** 1.0: technical report. Winnipeg, 2001b. 13 p. Disponível em: <[https://www.ccme.ca/files/Resources/water/water\\_quality/Synthesis](https://www.ccme.ca/files/Resources/water/water_quality/Synthesis)>. Acesso em: 27 go. 2018.
- CECCA - Centro de Estudos Cultura e Cidadania (1997). **Unidades de Conservação e Áreas Protegidas da Ilha de Santa Catarina: caracterização e legislação**. Ed. Insular, Florianópolis, Brasil, 160pp.
- CHA, Y.; PARK, S.S.; KIM, K.; BYEON, M.; STOW, C.A. Probabilistic prediction of cyanobacteria abundance in a Korean reservoir using a Bayesian Poisson Model. **Water Resources Research**. Vol. 50, p.2518-2532. 2014.

- CHAGAS, G.G.; SUZUKI, M.S. Seasonal Hydrochemical Variation in a Tropical Coastal Lagoon (Açu Lagoon, Brazil). **Brazilian Journal of Biology**. Vol. 65, nº 4, p. 597–607. 2005.
- CHANG, C.; CAI, L.; LIN, T.; CHUNG, C.; van der LINDER, L.; BURCH, M. Assessment of the Impacts of Climate Change on the Water Quality of a Small Deep Reservoir in a Humid-Subtropical Climatic Region. **Water**. Vol. 7, p.1687-1711. 2015.
- COELHO, S.; GAMITO, S.; & PÉREZ-RUZAFÁ, A. Trophic state of Foz de Almagem coastal lagoon (Algarve, South Portugal) based on water quality and the phytoplankton community. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, Vol. 71, nº 1, p.218-231, 2007.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Índices de qualidade das águas**. 2016. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas-interiores/documentos/indices/01.pdf>> Acesso em: 28 Ago 2018.
- COMPANHIA CATARINENSE DE ÁGUAS E SANEAMENTO – CASAN. **Estação de Tratamento de Água**. Disponível em: < <https://www.casan.com.br/menu-conteudo/index/url/estacao-de-tratamento-de-agua-eta#0> >. Acesso em 05 Out 2019.
- CONLEY, D.; PAERL, H.W.; HOWARTH, R.W.; BOESCH, D.F.; SEITZINGER, S.P.; HAVENS, K.E.; LANCELOT, C.; LIKENS, G.E. Controlling eutrophication: nitrogen and phosphorus. **Science**. nº 323, p.1014–1016. 2009.
- COOPE - INSTITUTO ABERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA. **Sobre o SisBaHiA**. Disponível em: < <http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br/>>. Acesso em 26 Ago 2018.
- COTOVICZ JÚNIOR, L. C.; BRANDINI, N.; KNOPPERS, B. A.; MIZERKOWSKI, B. D.; STERZA, J. M.; OVALLE, A. R. C.; MEDEIROS, P. R. P. Assessment of the trophic status of four coastal lagoons and one estuarine delta, eastern Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**. Vol.185, p.3297-3311, 2013.
- DHI – INSTITUTE FOR WATER AND ENVIRONMENT. **Mike Hydro River**. Disponível em: < <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-hydro-river/water-quality>>. Acesso em 26 Ago. 2018.
- ELMAHDY, E. M.; FONGARO, G.; SCHISSI, C. D.; PETRUCIO, M. M.; BARARDI, C. R. M. Enteric viruses in surface water and sediment samples from the catchment area of Peri Lagoon, Santa Catarina State, Brazil. **Journal of Water and Health**. Vol. 14, p. 142-154, 2016.

- ESTEVEES, F.A.; CALIMANN, A.; SANTAGELO, J.M.; GUARIENTO, R.D.; FARJALLA, V.F.; BOZELLI, R.L. Neotropical coastal lagoons: An appraisal of their biodiversity, functioning, threats and conservation management. **Brazilian Journal of Biology**. Vol. 68, nº 4, p. 967-981. 2008.
- FABRE, A.; CARBALLO, C.; HERNÁNDEZ, E.; PÍRIZ, P.; BERGAMINO, L.; MELLO, L.; GONZÁLEZ, S.; PÉREZ, G.; LEÓN, J.G.; AUBRIOT, L. BONILLA, S.; KRUK, C. El nitrógeno y la relación zona eufótica/zona de mezcla explican la presencia de cianobacterias en pequeños lagos subtropicales, artificiales de Uruguay. Panam. **Journal of Aquatic Science**. Vol.5, p.112- 125.
- FIGUEREDO, C. C.; GIANI, A. Phytoplankton community in the tropical lake of Lagoa Santa (Brazil): conditions favoring a persistent bloom of *Cylindrospermopsis raciborskii*. **Limnologica**. Vol. 30, n. 4, p. 264 - 272, 2009.
- FLORAM (Fundação Municipal do Meio Ambiente) – PMF (Prefeitura Municipal de Florianópolis). **Meio Ambiente**. Disponível em < <http://www.pmf.sc.gov.br/portal/meioambiente> >. Acesso em 26/02/2009.
- FLORIANÓPOLIS. Lei Municipal nº 1.828 de 3 de dezembro de 1981. **Cria o parque municipal da Lagoa do Peri e institui seu plano diretor de ocupação e uso do solo**. 1981.
- FLORIANÓPOLIS. Lei Municipal nº 91 de 9 de junho de 1982. **Regulamenta a lei nº 1.828 de 3 de dezembro de 1981**. 1982.
- FOLEY, T.A.; BETTERON, E.A. Nitrogen dry deposition to Lake Superior and Lake Michigan. **Journal of Great Lakes Research**. Vol. 45, n. 2, p. 224 -239, 2019.
- FONGARO, G.; NASCIMENTO, M. A.; VIANCELLI, A.; TONETTA, D.; PETRUCIO, M.M.; BARARDI, C.R.M.; Surveillance of human viral contamination and physicochemical profiles in a surface water lagoon. **Water Science & Technology**. Vol 66 No 12 pp 2682–2687, 2012.
- FONTES, M.L.S.; TONETTA, D.; DALPAZ, L.; ANTONIO, R.V.; PETRUCIO, M.M. Dynamics of planktonic prokaryotes and dissolved carbon in a subtropical coastal lake. **Aquatic Microbiology**. Vol. 4, nº 71, p.1-9. 2013.
- FUENTES, E.; PETRUCIO, M.M. Water level decrease and increased water stability promotes phytoplankton growth in a mesotrophic subtropical lake. **Marine and Freshwater Research**. Vol. 66, p. 711-718. 2015.

- GALVANESE, E.F.; PADIAL, A.A.; AUBRIOT, L. Acclimation at high temperatures increases the ability of *Raphidiopsis raciborskii* (Cyanobacteria) to withstand phosphate deficiency and reveals distinct strain responses. **European Journal of Phycology**. Vol. 54, nº 3, p. 359-368. 2019
- GOCH, Y.G. F.; KRUMME, U.; SAINT-PAUL, U.; ZUANON, J.A.S. Seasonal and diurnal changes in the fish fauna composition of a mangrove lake in the Caete estuary, North Brazil. **Amazoniana**. Vol. 18, nº 3, p. 299-315, 2005.
- GREELLMANN C. **Aspectos da morfologia e da ecologia de *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszinska) Seenayya et Subba-Raju e da produção de cianotoxinas na lagoa do Peri, Florianópolis, SC, Brasil**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina. 2006.
- GUILDFORD, S.J.; HECKY, R.E. Total nitrogen, total phosphorus, and nutrient limitation in lakes and oceans: Is there a common relationship? **Limnology & Oceanography**, Vol. 45, nº3 , p1213–1223, 2000.
- HAVENS, K. E.; THOMAS JAMES, R.; EAST, T. L.; SMITH, V. H. N:P ratios, light limitation, and cyanobacterial dominance in a subtropical lake impacted by non-point source nutrient pollution. **Environmental Pollution**, Vol.122, p.379-390, 2003.
- HAVENS, K.E., JAMES, R.T., EAST, T.L., SMITH, V.H. N:P ratios, light limitation, and cyanobacterial dominance in a subtropical lake impacted by non-point source nutrient pollution. **Environmental Pollution**. Vol. 122. p. 379–390. 2003.
- HENNEMANN, M. C.; PETRUCIO, M. M. High chlorophyll a concentration in a low nutrient context: discussions in a subtropical lake dominated by Cyanobacteria. **Journal of Limnology**. Vol. 75, p. 1-22, 2016.
- HENNEMANN, M. C.; PETRUCIO, M.M. Seasonal phytoplankton response to increased temperature and phosphorus inputs in a freshwater coastal lagoon, Southern Brazil: a microcosm bioassay. **Acta Limnologica Brasiliensia**. Vol. 22, nº 3, p.295-305. 2010.
- HENNEMANN, M.C.; SIMONASSI, J.C.; PETRUCIO, M.M. Paleolimnological record as an indication of incipient eutrophication in an oligotrophic subtropical coastal lake in Southern Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment** 187:513 DOI 10.1007/s10661-015-4726-9. 2015.
- HYNDMAN, R.J.; ATHANASOPOULOS, G. Forecasting: **Principles and practice**. 2<sup>a</sup> ed. Melbourne. 2018.



- ISTVÁNOVICS, V.; SHAFIK, H.M.; PRESING, M.; JUHOS, S. Growth and phosphate uptake kinetics of the cyanobacterium, *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanophyceae) in throughflow cultures. **Freshw. Biol.** Vol. 43, p.257-275. 2000.
- JONES, H.F.E.; OZKUNDACKI, D.; McBRIDE, C.G.; PILDITCH, C.A.; ALLAN, M.G.; HAMILTON, D.P. Modelling interactive effects of multiple disturbances on a coastal lake ecosystem: Implications of management. **Journal of Environmental Management.** Vol. 207, nº1, p.444-455. 2017.
- KENNISH M.J.; PAERL HW. **Coastal lagoon. Critical habitats of environmental change.** CRC Press. 539p. 2010.
- LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. **Numerical ecology.** 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 1998. 853p.
- LISBOA, L. K.; LEMES-SILVA, A.L.; SIEGLOCH, A.E.; GONÇALVES JUNIOR, J. F.; PETRUCIO, M. M. Temporal dynamics of allochthonous coarse particulate organic matter in a subtropical Atlantic rainforest Brazilian stream. **Marine and Freshwater Research.** Vol. 66, p. 400-440, 2015.
- LORENZEN, C.J., 1967. Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrometric equations. **Limnology & Oceanography**, Vol. 12, p. 343-346.
- MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R.; RODRIGUEZ, D. A.; CAMARGO, H.; PAREDES-RIVEROS, M.; DIAZ-PABLO; A. Two contrasting severe seasonal extremes in tropical South America in 2012: flood in Amazonia and drought in northeast Brazil. **Journal of Climate.** Vol.26, 9137–9154, 2013.
- MAROTTA, H.; DUART, C.M.; MEIRELLES-PEREIRA, F.; BENTO, L.; ESTEVES, F.A.; ENRICH-PRAST, A. Long-Term CO<sub>2</sub> Variability in Two Shallow Tropical Lakes Experiencing Episodic Eutrophication and Acidification Events. **Ecosystems**, Vol.13, p.382-392.
- MEHRA, R.K. AND A.V. CAMERON. **Unified State Space Forecasting for Single and Multiple Time Series Applications.** ORSA Heet:tng, Miami. 1976
- MIOTTO, M. C.; BRENTANO, D. M.; RÖRIG, L. Ecophysiological characterization and toxin profile of two strains of *Cylindrospermopsis raciborskii* isolated from a subtropical lagoon in Southern Brazil. **Hydrobiologia.** Vol. 802, nº1, p.97-113, 2017.
- MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. de C. **Análise de séries temporais.** 2. ed. Foram Paulo: Edgard Blucher, 2006. 538 p.

- MOSCHINI, C.V.; e POMPÊO, M.L.M. Dinâmica do fitoplâncton em uma lagoa de duna (Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, MA- Brasil). **Acta Limnológica Brasileira**. Vol. 12, nº2, p. 53-68,2001.
- NASROLLAHZADEH, H.S.; DIN. B.Z.; FOONG, S.Y.; MACKLOUGH, A. Trophic status of the Iranian Caspian Sea based on water quality parameters and phytoplankton diversity. **Continental Shelf Research**. Vol. 28, n. 9, p.1153-1165, 2008).
- NOGUEIRA, F. E. **Modelos de Regressão Multivariada**. Dissertação (Mestrado) Instituto de Matemática e Estatística. Universidade de Foram Paulo. Foram Paulo. 96p. 2007.
- OLIVEIRA, J.S. **Análise sedimentar em zonas costeiras: subsídio ao diagnóstico ambiental da Lagoa do Peri - Ilha de Santa Catarina -SC, Brasil**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. 2002.
- PACHECO, J.P.; IGLESIAS, C.; MEERHOFF, M.; FOSALBA, C.; GOYENOLA, G.; MELLO, F, T.; GARCÍA, S.; GELÓS, M.; GARCÍA-RODRÍGUEZ, F. Phytoplankton community structure in five subtropical shallow lakes with different trophic status (Uruguay): a morphology-based approach. **Arch. Hydrobiol**. Vol. 646, p.187-197. 2010.
- PADISÁK, J. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszyska) Seenayya et Subba Raju, an expanding, highly adaptive cyanobacterium: worldwide distribution and review of its ecology. **Arch. Hydrobiol**. Vol. 107, p.563-593.
- PAERL, H.W., HUISMAN, J. Blooms like it hot. **Science**. Vol. 320, p. 57-58. 2008.
- PEREIRA, A.A.; VAN HATTUM, B.; BROUWER, A.; VAN BODEGON, P.M.; REZENDE, C.E.; SALOMONS, W. Effects of iron-ore mining and processing on metal bioavailability in a tropical coastal lagoon. **Journal of Soils Sediments**. Vol. 8, nº 4, p.239 – 252, 2008.
- PEREIRA, M.E.G.S.; NETO, N.E.A.; MOURA, H.T.G.S.; NUNES, Z.M.P. Influência das variáveis ambientais na qualidade da água de uma lagoa costeira tropical no norte do Brasil. **Arquivo de ciências do Mar**. Vol. 50, nº 1, p. 81-93, 2017.
- PICCINI, C.; AUBRIOT, L.; FABRE, A.; AMARAL V.; GONZÁLEZ-PIANA, M.; GIANNI, A.; FIGUEREDO C.C.; VIDAL, L.; KRUK, C.; BONILLA, S. Genetic and ecophysiological differences of South American *Cylindrospermopsis raciborskii* isolates support the hypothesis of multiple ecotypes. **Harmf. Algae**. Vol. 10, p.644-653. 2011.
- PIRES, J.R.; LISBOA, L.K.; LEMES-SILVA, A.L.; PETRUCIO, M.M.; SIEGLOCH, A. E. Levantamento taxonômico e caracterização do hábitat de insetos aquáticos em Unidades de Conservação de uma ilha subtropical. **Biotemas**. Vol.28, n.3, p.57-67, 2015

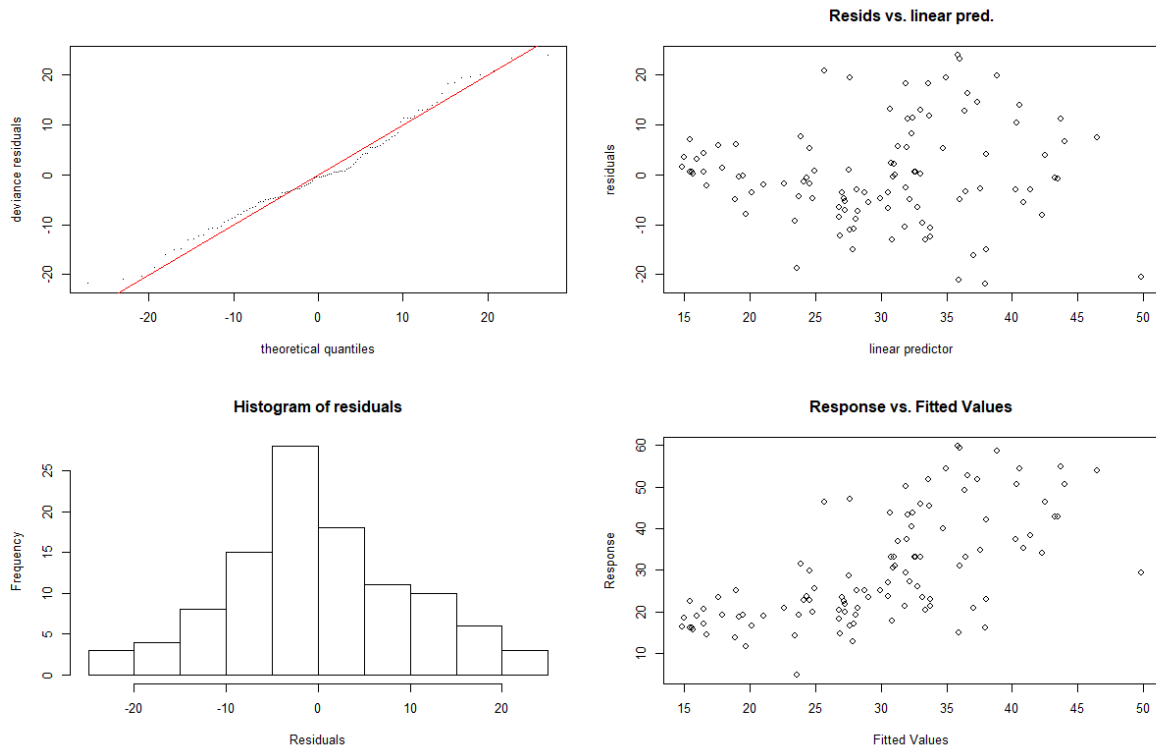
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2019.
- SANT'ANNA, C.L.; AZEVEDO, M.T.P. Contribution to the knowledge of potentially toxic Cyanobacteria from Brazil. **Nova Hedwigia**. Vol. 71, nº3, p.359-385, 2000.
- SCHÄFER, A. Tipificação ecológica das lagoas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Vol.2, p29–55. 1988.
- SIEGLOCH, A.E; SCHMITT, R.; SPIES, M.; PETRUCIO, MAURICIO MELLO; HERNANDEZ, M. I. M. Effects of small changes in riparian forest complexity on aquatic insect bioindicators in Brazilian subtropical streams. **Marine and Freshwater Research**, Vol. 1, p. 1-9, 2016.
- SILVA, A.Á.S. (2000). **Parque Municipal da Lagoa do Peri: subsídios para o gerenciamento ambiental**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, 120pp.
- SILVA, T.; LEITE, B.B.; GIANI, A.; FIGUEREIDO, C.C.; PETRUCCI, G.; LEMAIRE, B.; VON-SPERLING, E.; TASSIN, B.; SEIDL, M.; KHAC, V.T.; VIANA, P.S.; VIANA, V.F.L.; TOSCANO, R.A.; RODRIGUES, B.H.M.; NASCIMENTO, N.O. Modelagem da Lagoa da Pampulha: uma ferramenta para avaliar o impacto da bacia hidrográfica na dinâmica do fitoplâncton. **Engenharia Sanitária Ambiental**. Vol.21, nº1. P.95-108. 2016.
- SMITH, T.M.; REYNOLDS, R.W. Extended Reconstruction of Global Sea Surface Temperatures Based on COADS Data (1854–1997). **Journal of Climate**. Vol. 16, p.1495-1510. 2003.
- SOARES, M. F.; DOMINGOS, P.; SOARES F. F. L.; TELLES, L. F.R. 10 anos de monitoramento da qualidade ambiental das águas da lagoa Rodrigo de Freitas. **Oecologia Australis**. Vol. 16, nº 3, p.581-614, 2012.
- SOLOMON, C.T.; BRUESEWITZ, D.A.; RICHARDSON, D.C. Ecosystem respiration: Drivers of daily variability and background respiration in lakes around the globe. **Limnology and Oceanography**. Vol.58, p.849- 866. 2013.
- TEETOR, P. R Cookbook: **Proven Recipes for Data Analysis, Statistics and Graphics**. O'Reilly: 1ª ed. Sebastpool. 2011.
- THEY, N.H.; MARQUES, D.M.; SOUZA, S.R. Lower Respiration in the littoral zone of a subtropical shallow lake. **Frontiers in Microbiology**. Vol. 3, p. 1-10, 2013.

- TIBEBE, D.; KASSA, Y.; MELAKU, A.; LAKEW, S. Investigation of spatio-temporal variations of selected water quality parameters and trophic status of Lake Tana for sustainable management, Ethiopia. **Microchemical Journal**. Vol. 148, nº1, p. 374-378, 2019.
- TIEBE, D.; KASSA, Y.; MELAKU, A.; LAKEW, S. Investigation of spatio-temporal variations of selected water quality parameters and trophic status of Lake Tana for sustainable management, Ethiopia. **Microchemical Journal**. Vol. 148, p.374-384, 2019.
- TONETTA, D.; HENNEMANN, M.C.; BRENTANO, D.M.; PETRUCIO, M.M. Considerations regarding the dominance of *Cylindrospermopsis raciborskii* under low light availability in a low phosphorus lake. **Acta Botanica Brasilica**. Vol. 29, nº 3, p. 448-451. 2015a.
- TONETTA, D.; LAUDARES-SILVA, R.; PETRUCIO, M.M. Planktonic production and respiration in a subtropical lake dominated by Cyanobacteria. **Brazilian Journal Biology**. Vol. 75, nº 2, p.460-470. 2015b.
- TONETTA, D.; PETRUCIO, M.M.; LAUDARES-SILVA, R. Temporal variation in phytoplankton community in a freshwater coastal lake of southern Brazil. **Acta Limnologica Brasileinsia**, Vol. 25, nº 1, p. 99 – 110. 2013a.
- TONETTA, D.; STAEHR, P. A.; SCHMITT, R.; PETRUCIO, M.M. Physical conditions driving the spatial and temporal variability in aquatic metabolism of a subtropical coastal lake. **Limnologia**. Vol. 58, p. 30-40, 2016.
- TORRES, I.C.; INGLETT, P.W.; BRENNER, M.; KENNEY, W.F.; REDDYET, K.R. Stable isotope ( $\delta^{13}C$  and  $\delta^{15}N$ ) values of sediment organic matter in subtropical lakes of different trophic status. **Journal of Paleolimnology**. Vol. 47, p.693- 706. 2012.
- TRENBERTH, K.E. The Definition of *El Niño*. **Bulletin of the American Meteorological Society**. Vol. 78, nº 12, p. 2771-2777. 1997.
- TUCCI, A., SANT'ANNA, C.L. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya & Subba Raju (Cyanobacteria): variação semanal e relações com fatores ambientais em um reservatório eutrófico, Foram Paulo, SP, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**. Vol. 26, p. 97-112. 2003.
- TUNDISI, J. G.; MATSUMARA-TUNDISI, T. **Limnologia**. Foram Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- VENTURINI, J.C. **Estado Trófico de uma Lagoa Costeira: Lagoa Juara, Serra – ES**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Oceanografia Ambiental – Centro de Ciencias Humanas e Ambientais – UFES, 85p. 2015.

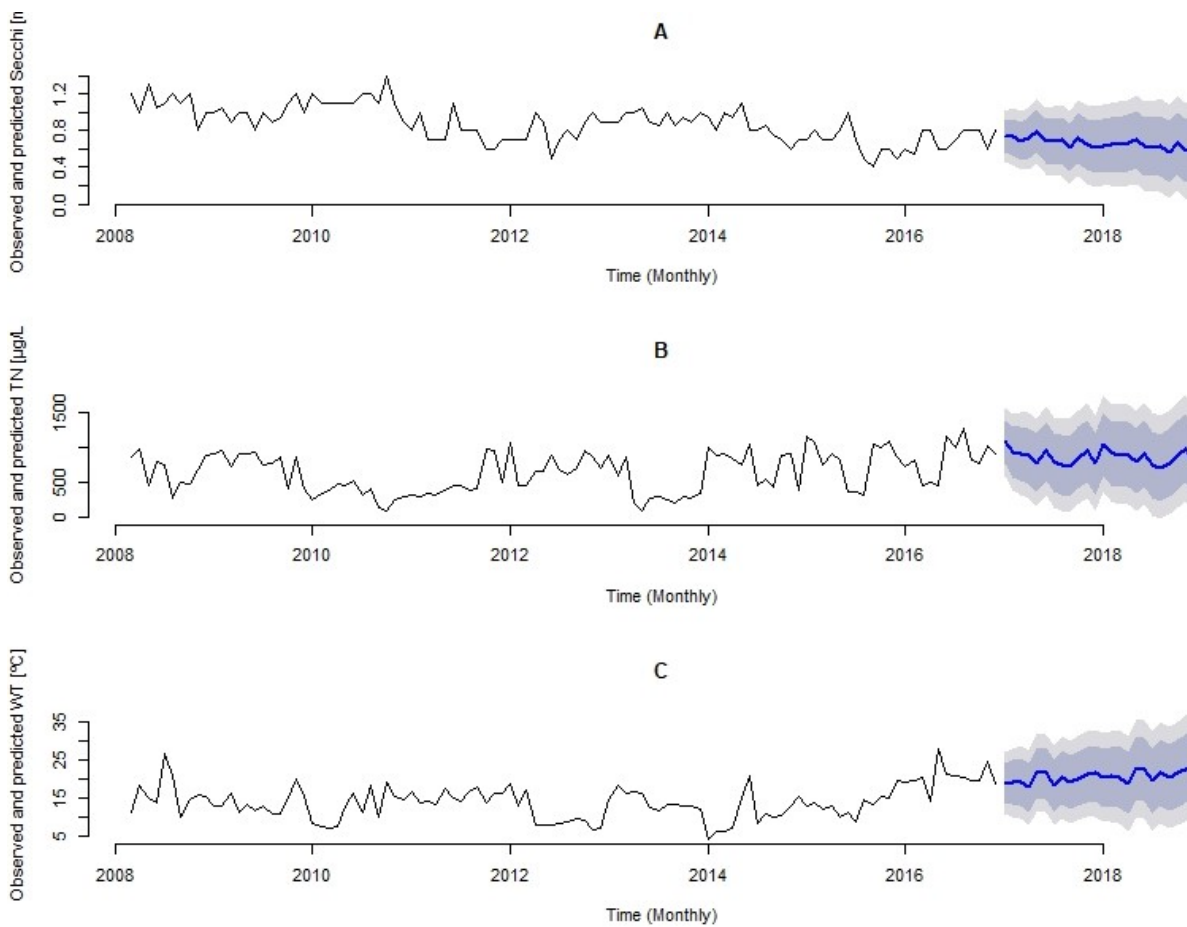
- VIDAL, L., KRUK, C. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) extends its distribution to Latitude 34°53'S: taxonomical and ecological features in Uruguayan eutrophic lakes. Panam. **Journal Aquat. Science**. Vol.3, p.142-151. 2008.
- WU, Z.; ZENG, B.; LI, R.; SONG, L. Physiological regulation of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Nostocales, Cyanobacteria) in response to inorganic phosphorus limitation. **Harmful Algae**. Vol. 15, p.53–58. 2012.
- YAN, D.; XU, H.; YANG, M.; LAN, J.; HOU, W.; WANG, F.; ZHANG, J.; ZHOU, K.; UM, Z.; GOLDSMITH, Y. Responses of cyanobacteria to climate and human activities at Lake Chenghai over the past 100 years. **Ecological Indicators**. Vol. 104, p. 755-763, 2019.
- YANG, J.; LV, H.; LIU, L.; YU, X.; CHEN, H. Decline in water level boosts cyanobacteria dominance in subtropical reseivors. **Science of the total Environment**. Vol. 557-558, n°1, p. 445-452, 2016.
- ZUUR, A.L.; WALKER, N.; SAVELIEV, A.A.; SMITH, G.M. **Mixed Effects Models and Extensions in Ecology** in R. 1<sup>a</sup> ed. New York: Springer. 2009.

## 5 APÊNDICES

Apêndice I – Validação do modelo GAM apresentado utilizando a função *gam.check* do pacote *mgcv*.



Apêndice II - Valores de Transparência da coluna d'água (Secchi) no detalhe A, concentrações de Nitrogênio Total (TN) no detalhe B e valores de temperatura da água no detalhe C observados de janeiro de 2008 a janeiro de 2018 (linha preta) com previsões para o período de janeiro de 2018 a dezembro de 2019. As áreas sombreadas são os intervalos de confiança de 80% (Cinza claro) e 95% (cinza Escuro).



## APÊNCIDES

Apêndice III - Tabela de valores de contribuição das variáveis para cada eixo (PC1 e PC2).

Variável	PC1	PC2
depth	-0.30	<b>0.62</b>
TN	<b>0.45</b>	0.18
TP	0.20	<b>-0.55</b>
Cla	<b>0.47</b>	0.40
WT	-0.02	<b>-0.33</b>
secchi	<b>-0.60</b>	-0.07
rainfall	-0.28	0.08