



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL E DOS RECURSOS HÍDRICOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA E RECURSOS
AQUÁTICOS TROPICAIS

HADLEY SOLANO DANTAS FREITAS

EFEITO DA TEMPERATURA NA PRODUÇÃO DE BIOMASSA PERIFÉRICA
EM TANQUE DE PISCICULTURA

BELÉM

2024

HADLEY SOLANO DANTAS FREITAS

**EFEITO DA TEMPERATURA NA PRODUÇÃO DE BIOMASSA PERIFÍTICA
EM TANQUE DE PISCICULTURA**

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais, da Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais.

Área de concentração: Ecologia Aquática E Manejo De Recursos Naturais.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Barbara Dunck Oliveira

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Xiomara Franchesca

García Díaz

BELÉM

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F862e Freitas, Hadley Solano Dantas
EFEITO DA TEMPERATURA NA PRODUÇÃO DE BIOMASSA PERIFÍTICA EM TANQUE DE
PISCICULTURA / Hadley Solano Dantas Freitas, Bárbara Dunck Oliveira. - 2024.
29 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Aquicultura e Recursos Aquáticos
Tropicais (PPGARAT), Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia,
Belém, 2024.

Orientador: Profa. Dra. Bárbara Dunck Oliveira
Coorientador: Profa. Dra. Xiomara Franchesca García Díaz.

1. Algas Perifíticas. 2. Colonização. 3. Criação de Peixe. 4. Produtividade Primária. I. Oliveira, Bárbara
Dunck. *orient.* II. Título

CDD 639.31

HADLEY SOLANO DANTAS FREITAS

EFEITO DA TEMPERATURA NA PRODUÇÃO DE BIOMASSA PERIFÍTICA EM
TANQUE DE PISCICULTURA

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais, da Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais.

Data: 30/04/2024

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Barbara Dunck Oliveira (Orientadora)
Universidade Federal Rural da Amazônia -UFRA

Prof. Fabio Carneiro Sterzelecki (titular)
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

Prof. Weliton José da Silva (titular)
Universidade Estadual de Londrina– UEL

Prof. Leonardo Castelo Branco Carvalho (titular)
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

Prof. Paula N. Campos (suplente)
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

BELÉM

2024

RESUMO

O perifíton é essencial para o funcionamento dos ecossistemas aquáticos, contribuindo principalmente para a produtividade primária e atuando na base da teia trófica. A temperatura é um fator determinante no desenvolvimento das algas perifíticas, pois tem efeito na estruturação da comunidade e no processo sucessional. Neste contexto, avaliou-se a produção primária do perifíton em substratos artificiais (lâminas de vidro) por 60 dias em tratamentos de temperatura a 28, 30 e 32°C. O experimento ocorreu em mesocosmos alocados em um tanque de piscicultura. A biomassa dos substratos foi avaliada através da clorofila-a, e as variáveis ambientais foram verificadas através de sonda multiparâmetro. Para verificar o efeito da temperatura e do tempo de colonização sobre a biomassa perifítica foi aplicada ANOVA de medidas repetidas. O maior pico de biomassa ($0,6872 \text{ mg.m}^{-3}$) foi registrado no tratamento a 32°C, especificamente aos 20 dias após o início do experimento. Em contraste, a menor quantidade ($0,0115 \text{ mg.m}^{-3}$) foi observada aos 32 dias no tratamento a 30°C. Concluímos que a maior temperatura 32°C determinou maior biomassa de algas perifíticas e evolução sucessional mais acelerada.

PALAVRAS-CHAVE: Algas Perifíticas, Colonização, Criação de Peixe, Produtividade Primária.

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, pois sem Ele esta jornada não seria cumprida e tudo que tenho, tudo que tenho e o que sou devo a Ele.

A minha orientadora Prof^ª. Dr^ª. Bárbara Dunck de Oliveira, que sempre acreditou em meu potencial, apoiou, incentivou e proporcionou grandes oportunidades e teve muita paciência devido aos meus muitos afazeres.

Aos colegas do laboratório Ellen Trindade pela colaboração, apoio, conversas e ajudas, que foram fundamentais p este trabalho.

A Emater – Pa pela oportunidade de trabalhar e estudar ao mesmo tempo, me qualificando para melhor atender os produtores, aos meus supervisores Katharine Batista por me ajudar em todos os momentos do meu Mestrado, Cícero Sobrinho, Sérvio Túlio e Lázaro por sempre me ajudarem nessa jornada tão difícil de trabalhar e estudar ao mesmo tempo. Ao meu Coordenador Local de Benevides Antônio Carlos Lima por me apoiar direta e indiretamente sempre e aos colegas e amigos do Escritório de Benevides, pela companhia e ajuda.

Aos colegas do mestrado e doutorado pelo coleguismo.

Aos professores do PPGAqRAT da Universidade Federal Ruaral da Amazônia pelos bons conselhos, instruções e esclarecimentos.

A coordenação da PPGAqRAT, por ser sempre solícita e compreensiva as questões de estudo, tempo e trabalho.

A secretária da pós-graduação Andreza que sempre esteve pronta a ajudar com eficiência e disposição.

À minha querida esposa M^a Antônia Geiciane Silva de O. Dantas e ao meu filho Francisco Lucas O. Dantas Freitas, que sempre me encorajaram, aconselharam e apoiaram em todas as horas, sempre com uma palavra de incentivo, esclarecimento e paciência acima de tudo, vocês são meus maiores incentivos.

À minha querida irmã Hélia Cristina, sempre me ajudando e encorajando sempre.

Aos meus amados pais, Maria Sulamita Dantas Freitas e Francisco Freitas (In Memoriam), pelo amor, apoio, incentivo e principalmente pelas orações. A eles dedico

inteiramente este trabalho.

A toda minha família, que mesmo à distância, esteve presente em todos os momentos.

A Universidade Estadual de Londrina - UFL e ao Professor Dr Weliton José da Silva e ao Me Thiago Ferreira Pinheiro pela fundamental contribuição de dados.

A minha querida Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA por proporcionar tão grande e fundamental contribuição na minha vida secular e acadêmica.

SUMÁRIO

RESUMO	5
AGRADECIMENTOS	6
1 INTRODUÇÃO	9
2 MATERIAIS E MÉTODOS	11
2.1 Área de Estudo	11
2.2 Delineamento experimental	11
2.3 Parâmetros físico-químicos da água	12
2.4 Biomassa (Clorofila – a)	12
2.5 Análise de dados	13
3 RESULTADOS	13
3.1 Variáveis ambientais e nutrientes	13
3.2 Análise de Componentes Principais (PCA)	14
3.3 Análise de Variância (ANOVA) de Medidas Repetidas	15
4 DISCUSSÃO	17
5 CONCLUSÃO	18
6 REFERÊNCIAS	19
7 MATERIAL SUPLEMENTAR	24

1 INTRODUÇÃO

A comunidade de algas perifíticas é um conjunto de organismos polifiléticos, aderida a substratos submersos de diversas origens e possui a mais variada gama de formas, funções e estratégias adaptativas (Biggs et al., 1998). A composição taxonômica desta comunidade pode diferir de acordo com o tipo de substrato, contudo, as condições ambientais são determinantes para o sucesso da colonização destes substratos pelo perifiton (Biolo et al., 2015). Estes organismos são essenciais para o funcionamento dos ecossistemas aquáticos, contribuindo principalmente para a produtividade primária e atuando na base da teia trófica como fonte de alimento para diversos tipos de herbívoros (Merbt et al., 2024). Além disso, seu aporte para a produtividade primária pode ser maior que a do fitoplâncton na maioria dos ambientes aquáticos (Azim et al., 2005; Fránková et al., 2017; Singh, James e Bharose, 2017).

Os principais fatores que influenciam o desenvolvimento e sucesso das algas perifíticas são os macros e micronutrientes, substrato, predação, velocidade e características físico-químicas da água (Biggs et al., 1998; Albay, e Akçaalan, 2008; Schneck e Melo, 2012; Dunck et al., 2013). Mudanças nestas condições causam alterações nas estratégias adaptativas dos organismos e até mesmo na composição da comunidade (Pacheco et al., 2022). Estudos apontam a temperatura como fator determinante na dominância de espécies das comunidades de algas perifíticas (Chu et al., 2007; Murakami e Rodrigues, 2009; Bondar-Kunze, Kasper e Hein, 2021), uma vez que tem efeito direto nas reações bioquímicas do ecossistema (Jeppesen et al., 2010) e indireto sobre a disponibilidade de luz e nutrientes (Rühland et al., 2015), interferindo na estruturação da comunidade, sobretudo na composição, diversidade e no processo sucessional (Hao et al, 2020; Pacheco et al., 2022).

A colonização e sucessão da comunidade perifítica a médio prazo, atinge seu pico de biomassa em torno de duas semanas (Dunck et al., 2015), em gradientes de temperatura variando de 16° a 23°C (Stevenson, 1990; Vercellino e Bicudo, 2006). A elevação da temperatura a curto prazo aumenta as taxas respiratórias através do crescimento na atividade enzimática nos organismos (Pan et al., 2024), enquanto a longo prazo essa elevação proporciona considerável aumento na biomassa perifítica, através da elevação nas taxas fotossintéticas (Wu, 2017). De modo geral, as taxas ótimas de produção de biomassa do perifiton a curto e médio prazo são atingidas em temperaturas variando entre 20°C e 30°C (De Nicola, 1996). Neste contexto, a temperatura tem efeito nas diferenças interespecíficas de crescimento das algas

perifíticas em diferentes gradientes (Butterwick et al., 2005), e principalmente, na produtividade primária dos ecossistemas aquáticos.

O processo sucessional do perifíton segue quatro estágios: colonização, fase exponencial, descamação autogênica e fase de perda, envolvendo o estabelecimento do perifíton, pico da biomassa, início da degradação da comunidade e perdas significativas, respectivamente (Wu, 2017). Estes estágios configuram um mecanismo cíclico o qual apresenta microsucessões ao longo da formação da comunidade (Hoagland, Roemer e Rosowski, 1982). Neste processo o estabelecimento do perifíton atinge seu clímax em torno de 15 dias, em temperaturas variando entre 15° e 26°C (Rodrigues e Bicudo, 2001; Murakami e Rodrigues 2009), padrão refletido na biomassa. Além destes efeitos, variações na temperatura tendem a determinar quais espécies prevalecerão no ambiente (Murakami e Rodrigues, 2009), uma vez que a taxa de crescimento ótima e a tolerância a temperatura é diferente entre os indivíduos, ou seja, este fator também atua como seletor da composição da comunidade.

Para acessar as respostas das comunidades às alterações ambientais, o uso de experimentos que permitem reproduzir e manipular situações e variáveis específicas é bem difundido (Stewart et al., 2013). Estudos envolvendo o efeito da temperatura utilizam principalmente os experimentos em mesocosmos (De Nicola, 1996), realizados em campo a fim de conseguir abranger a complexidade dos processos ambientais e ao mesmo tempo testar o efeito de variáveis específicas em diferentes tratamentos (Pedregal-Montes et al., 2024).

Estudos a longo prazo abrangendo a sucessão do pnerifíton são escassos e experimentos que utilizam substratos artificiais permitem o melhor entendimento dos processos sucessionais e o estabelecimento das comunidades perifíticas pela uniformidade na colonização, em tempo, tamanho e formas (Albay e Akçaalan, 2003; Lane, Taffs e Corfield, 2003). Diante disso, este estudo avaliou de forma experimental o efeito da temperatura sobre a biomassa das algas perifíticas presentes em substratos artificiais ao longo de processos sucessionais em mesocosmos implantados em um tanque de piscicultura, sob diferentes tratamentos de temperatura (T1 28°C, T2 30°C e T3 32°C). Testamos a hipótese de que o aumento da temperatura à 32°C proporciona a maior biomassa perifítica nos mesocosmos, pois o aumento da taxa metabólica elevará a taxa fotossintética, enquanto que no tratamento com 28°C a biomassa será menor que nos demais tratamentos. Também testamos a hipótese de que o perifíton mostrará processo sucessional de crescimento mais rápido no tratamento mais quente a 32°C, devido a ação da temperatura sobre o metabolismo dos organismos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

Este estudo foi realizado na estação de Piscicultura do Laboratório de Ecologia Aquática e Conservação de Espécies Nativas – LEACEN da Universidade Estadual de Londrina – UEL, localizada entre as coordenadas 23°17'34" S e 51°10'24" W (Figura 1). A área possui cerca de 23.648 m², clima subtropical úmido, verão quente, com chuvas em todas as estações, o bioma é de mata atlântica, com temperatura média de 22,5 °C e média anual de pluviosidade é de 1723 mm. O tanque de piscicultura utilizado é abastecido por nascentes em regiões de mais baixa altitude do Horto da UEL, que fazem parte da Bacia do Ribeirão Esperança, sendo os trechos localizados na universidade, os mais profundos do rio (Vieira e Shibata, 2007; Reis et al., 2012).

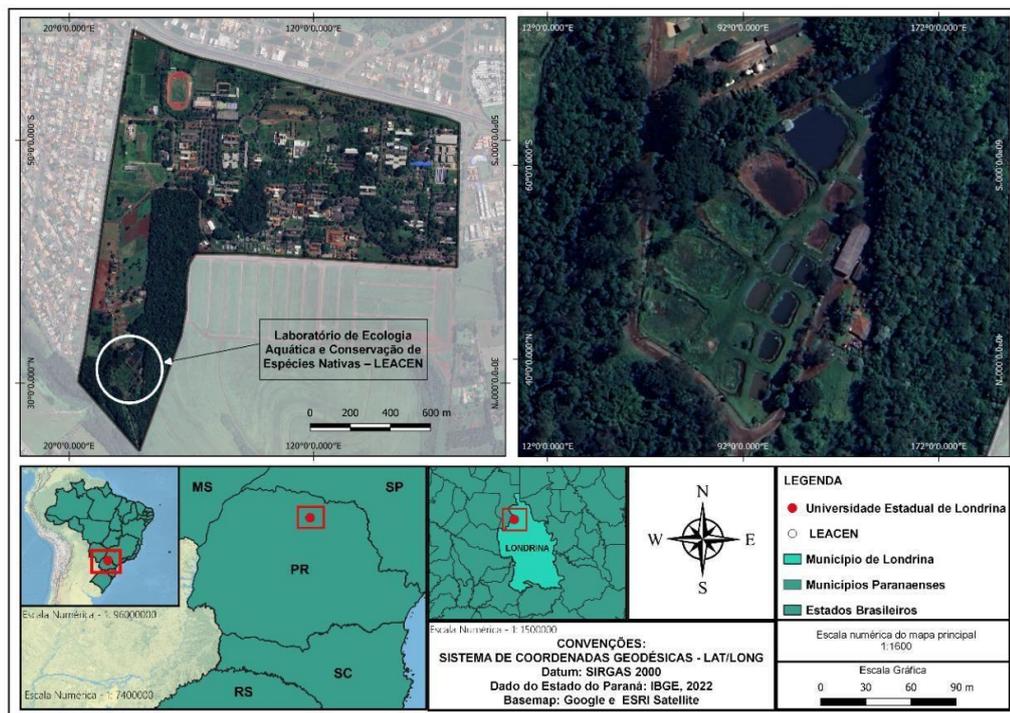


Figura 1. Localização da área de estudo, LEACEN-UEL, Londrina.

2.2 Delineamento experimental

O experimento foi realizado durante os meses de julho e setembro de 2022, em mesocosmos dispostos em um tanque de piscicultura, o qual possui uma área de 292,4 m² e 1,60 m de profundidade. O experimento *in situ* foi estabelecido em uma área aberta e cercada dentro do próprio ambiente, sem o controle das variáveis e de modelo limitado. Para os

mesocosmos foram utilizadas caixas de polipropileno transparente, com capacidade de 30 litros (30,5 cm de largura, 42,5 cm de comprimento e 30,7 cm de altura), sendo na parte superior de cada, acoplado flutuadores espaguete (espuma de polietileno) de 160 cm de comprimento e 6 cm de espessura. Dentro dos mesocosmos foi inserido um conjunto de 10 perifitometômetros contendo 07 lâminas de vidro inertes em cada, utilizado como substratos artificiais para a colonização e estruturação da comunidade de algas perifíticas.

Os mesocosmos foram submetidos a três tratamentos de temperaturas, através do uso termostatos de aquário (aquecedor automático totalmente submersível de 110V/60HZ), aderidos horizontalmente na lateral interna de cada mesocosmos. Dessa forma, o delineamento experimental aplicado foi o inteiramente casualizado, com cinco repetições em cada tratamento, totalizando 15 mesocosmos submetidos às seguintes temperaturas: Tratamento 1 (T1), 28°C, Tratamento 2 (T2), 30°C e Tratamento 3 (T3), 32°C. A água do tanque de piscicultura foi considerada como controle, para as medidas dos parâmetros físico-químicos.

A cada 04 dias, a partir da data de instalação, uma lâmina foi retirada para análise da clorofila- *a* (biomassa). O experimento teve duração de 60 dias, totalizando 225 lâminas, removidas dos mesocosmos ao acaso, e posteriormente acondicionadas em frascos vidro preenchidos com 50 ml de água destilada. Os frascos foram envoltos em papel alumínio, mantidos a baixa temperatura e protegidos da luz até o momento da filtragem em laboratório.

2.3 Parâmetros físico-químicos da água

Para aferir os parâmetros físico-químicos (Temperatura (°C), pH, Potencial de Oxidação/Redução- ORP, Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Turbidez (UNT), Oxigênio Dissolvido- OD e Sólidos Totais Dissolvidos- STD) foi utilizada uma sonda multiparamétrica (Horiba 19" series 2000 tool box), a cada 15 dias a partir do início do processo de colonização, totalizando cinco amostragens. Para análise dos nutrientes, as amostras foram coletadas diretamente na subsuperfície da água do tanque de piscicultura. Para análise do ortofosfato e fósforo, foi utilizado o método 4500-P da APHA (2012), os demais nutrientes (Amônio, Nitrato e Nitrito) foram aferidos através de Espectrofotometria molecular UV-VIS.

2.4 Biomassa (Clorofila – a)

As lâminas coletadas para essa análise tiveram área de 16,5 cm² raspada imediatamente após cada coleta, passando pelo processo de filtragem realizada no LAMIC/UEL, com auxílio de uma bomba de sucção a vácuo (Primar, modelo 141 tipo 2VC), utilizando micro filtros de fibra de vidro (GF-1 Macherey Nagel; 0,7 μm de porosidade e 47 mm de diâmetro). Após a filtragem, os filtros foram mantidos à temperatura de -18°C até análise posterior. A análise da

clorofila- α foi através da metodologia 10.200H da APHA (2012), em espectrofotômetro (Spectrum meter SP-2000UV).

2.5 Análise de dados

Foram realizadas análises de componentes principais (PCA) para verificar a variação das amostras coletadas no tanque de piscicultura (controle) e dos tratamentos em relação às variáveis ambientais (temperatura, pH, condutividade, turbidez e oxigênio dissolvido), e se as unidades estão estruturadas de forma distinta quanto ao tratamento e ao longo do tempo de estudo. Foi realizado uma Análise de Variância (ANOVA) de Medidas Repetidas para verificar se houve diferença na concentração da biomassa perifítica no decorrer do tempo sucessional sob o efeito dos tratamentos de temperatura aplicados (T1 28°C, T2 30°C e T3 32°C) nos mesocosmos. Este método estatístico permite discernir se as variações na biomassa são atribuíveis às mudanças de temperatura ou se são simplesmente devido à aleatoriedade. O teste de Tukey foi usado como teste *post hoc*.

3 RESULTADOS

3.1 Variáveis ambientais e nutrientes

Durante o período do estudo, o tanque de piscicultura (controle) apresentou temperatura média da água de 20,52°C. No tratamento T1 a média de temperatura foi de 28°C, variando entre 27°C e 30°C, o tratamento T2 apresentou média de 29°C e variou entre 27°C e 30,9°C; no tratamento T3 a média foi de 30°C e variou entre 29°C e 31°C (Tabela 1). Para a condutividade elétrica o controle variou de 0,101 μ S/cm a 0,134 μ S/cm, com média de 0,125 μ S/cm, enquanto nos 3 tratamentos (T1, T2 e T3) a média da condutividade foi 0 μ S/cm (Tabela 1). O pH no controle foi considerado básico, com valor médio de 8,61, variando entre 6,77 e 10,76 \pm 1,69; também nos mesocosmos o pH foi básico, com média de 9 e distintos desvios padrões (Tabela 1). A turbidez apresentou valor médio no controle de 11,2 NTU, e para os mesocosmos dos tratamentos T1, T2 e T3 foram respectivamente 17,2, 18 e 26 NTU (Tabela 1). O oxigênio dissolvido no controle esteve em média a 14,74 mg/L, e para os tratamentos T1, T2 e T3 esteve a 8, 9 e 11 mg/L, respectivamente (Tabela 1).

Para os nutrientes não foram observadas variações nos dias de colonização. As concentrações de Amônio em T1 foram mantidas a 0,5 mg/L em todas as medidas para os dias de colonização, enquanto que T2 (0,5 mg/L) e T3 (0,5 mg/L) apresentaram leve aumento no 40° dia de colonização. As concentrações de nitrato foram diminuindo nos tratamentos T1 e T2

ao longo dos dias, enquanto T3 apresentou aumento na concentração no decorrer dos dias de colonização (Tabela S2).

Tabela 1. Variáveis ambientais registradas para os mesocosmos e tanque de piscicultura (controle). Média e desvio padrão (\pm DP) dos distintos tratamentos de temperatura (T1=28°C, T2=30°C, T3=32°C). Legenda: pH= potencial hidrogeniônico, OD=Oxigênio dissolvido.

Variáveis ambientais	Média \pm DP			
	Controle	T1	T2	T3
Temperatura (°C)	20,52 \pm 1,5	28 \pm 1,17	29 \pm 1,79	30 \pm 1,23
pH	8,61 \pm 1,69	9 \pm 2,05	9 \pm 2,22	9 \pm 2,32
Condutividade (μ S/cm)	0,125 \pm 0,01	0 \pm 0,03	0 \pm 0,001	0 \pm 0,03
Turbidez (UTN)	11,2 \pm 5,71	17 \pm 12,2	18 \pm 12,18	26 \pm 14,63
OD (mg/L)	14,74 \pm 4,11	8 \pm 2,87	9 \pm 2,75	11 \pm 3,61

3.2 Análise de Componentes Principais (PCA) para variáveis ambientais dos tratamentos pelo tempo

A PCA em seus dois primeiros eixos resumiu 78,39% da variação total das variáveis ambientais (Eixo I= 42,82% e Eixo II= 35,57%). As variáveis que mais contribuíram positivamente para a formação do primeiro eixo foram OD e pH. No segundo eixo, a variável turbidez contribuiu negativamente, enquanto condutividade e temperatura contribuíram positivamente (Tabela 2). A ordenação demonstrou que todos os tratamentos foram associados com valores mais altos de condutividade, temperatura e turbidez, já o controle apresentou em média maiores valores de oxigênio dissolvido e pH (Figura 2). Também demonstrou que todos os tratamentos no quarto dia de colonização apresentaram os maiores valores de turbidez (Figura 2).

Tabela 2. Correlação das variáveis limnológicas com os dois primeiros eixos da análise de componentes principais (pH=potencial hidrogeniônico, OD=Oxigênio dissolvido).

	Eixo I	Eixo II
%OD	-0.731	0.558
%Condutividade	0.727	0.521
%pH	-0.044	0.965
%Turbidez	0.610	-0.370
%Temperatura	0.839	0.355
Autovalor	2.141	1.788
Broken Stick	2.283	1.283
% de explicação	42.82%	35.57%

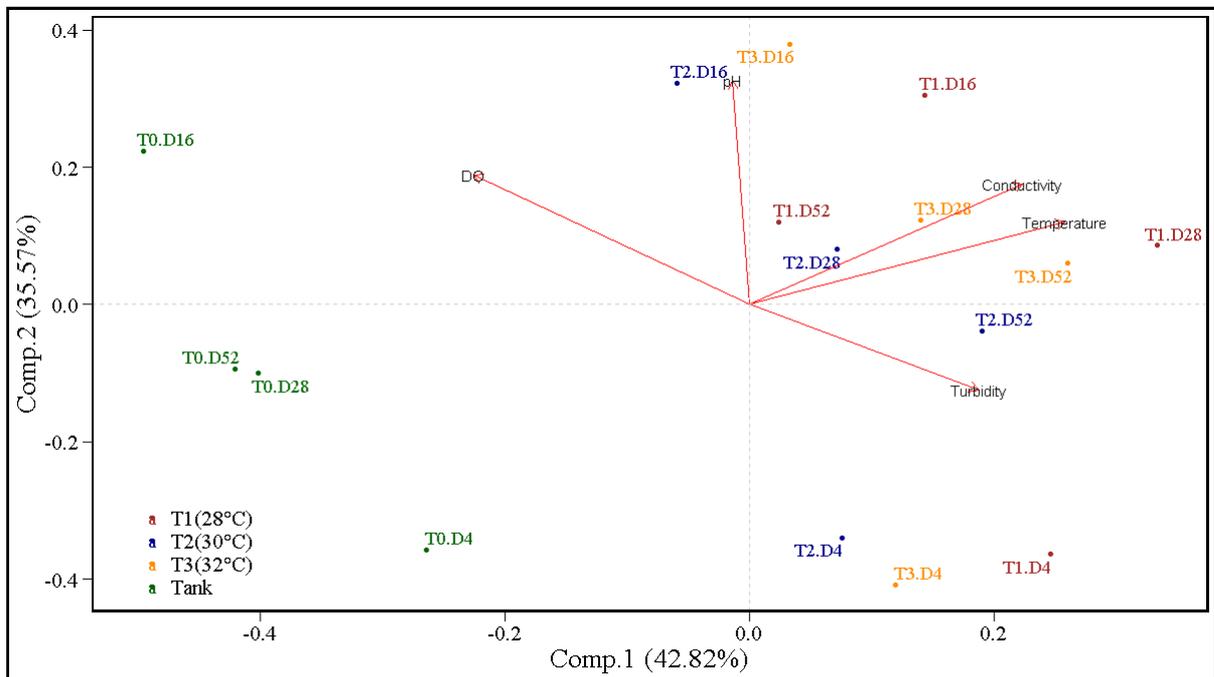


Figura 2- Ordenação das médias das variáveis ambientais pelo tempo e distintos tratamentos pela análise de componentes principais (PCA). (pH: potencial hidrogeniônico, DO: oxigênio dissolvido, T0: água do tanque de piscicultura, T1: tratamento 28°C, T2: tratamento 30°C, T3: tratamento 32°C, D4: 4º dia, D16: 16º dia, D28: 28º dia, D52: 52º dia).

3.3 Análise de Variância (ANOVA) de Medidas Repetidas

A análise de Variância (ANOVA) de medidas repetidas evidenciou a existência de diferenças significativas na biomassa das algas perifíticas entre os tratamentos T1 (28°C), T2 (30°C) e T3 (32°C), aplicados nos mesocosmos do tanque de piscicultura ($F = 4,04$, $p = 0,029$).

O tratamento T3 (32°C) foi o que apresentou o maior valor médio de biomassa em todo experimento, seguido pelo tratamento T2 (30°C), e o tratamento T1 (28°C) que produziu a menor biomassa média (Figura 4). Os tratamentos T1 (28°C) e T3 (32°C) apresentaram três e quatro picos de valores de biomassa, respectivamente, no tratamento T1 no 12º dia (0,4269 mg.m⁻³), 24º dia (0,3634 mg.m⁻³) e 44º dia (0,5815 mg.m⁻³) de sucessão. No tratamento T3 ocorreram os valores mais altos de biomassa perifítica, no 20º dia (0,6872 mg.m⁻³), no 28º dia (0,6872 mg.m⁻³), no 44º dia (0,4500 mg.m⁻³) e 52º dia de sucessão (0,6865 mg.m⁻³), o tratamento T2 não apresentou picos evidentes. Os menores valores de biomassa foram observados no 32º dia de sucessão (0,0115 mg.m⁻³) no tratamento T2 (30°C), e 32º dia (0,0154 mg.m⁻³), 36º dia (0,0173 mg.m⁻³) e 40º dia de sucessão (0,0173 mg.m⁻³) no tratamento T3 (32°C) (Figura 5). Contudo, não foi evidenciado diferenças significativas na variação da biomassa ao longo dos dias de colonização ($F= 3,39$, $p= 0,068$).

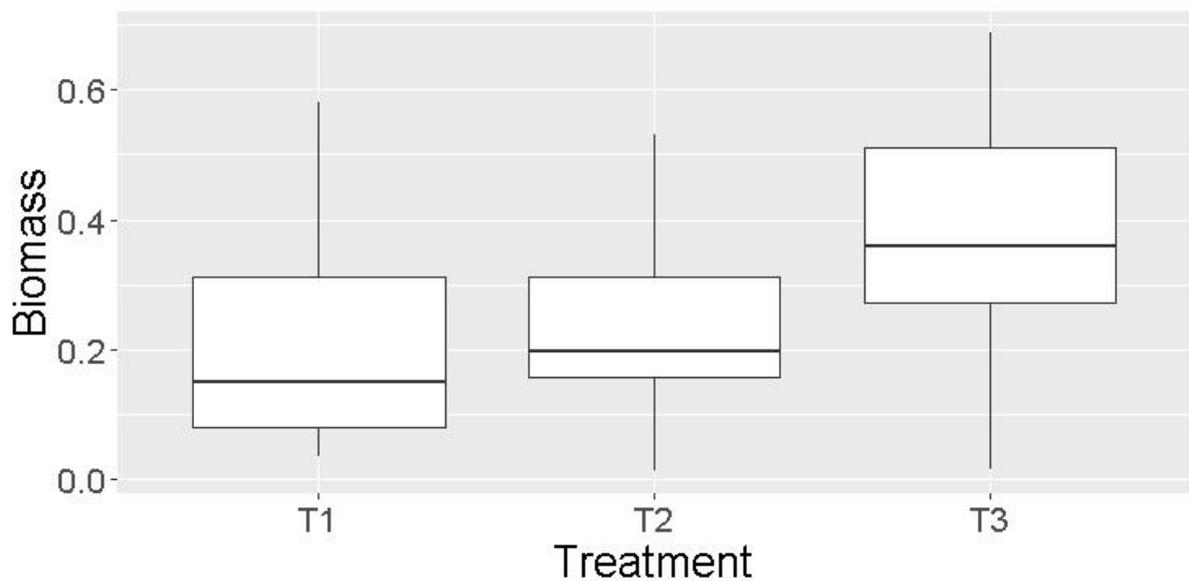


Figura 3 - Análise de variância dos valores médios das biomassas da comunidade de algas perifíticas nos mesocosmos entre os distintos tratamentos T1(28°C), T2 (30°C) e T3(32°C).

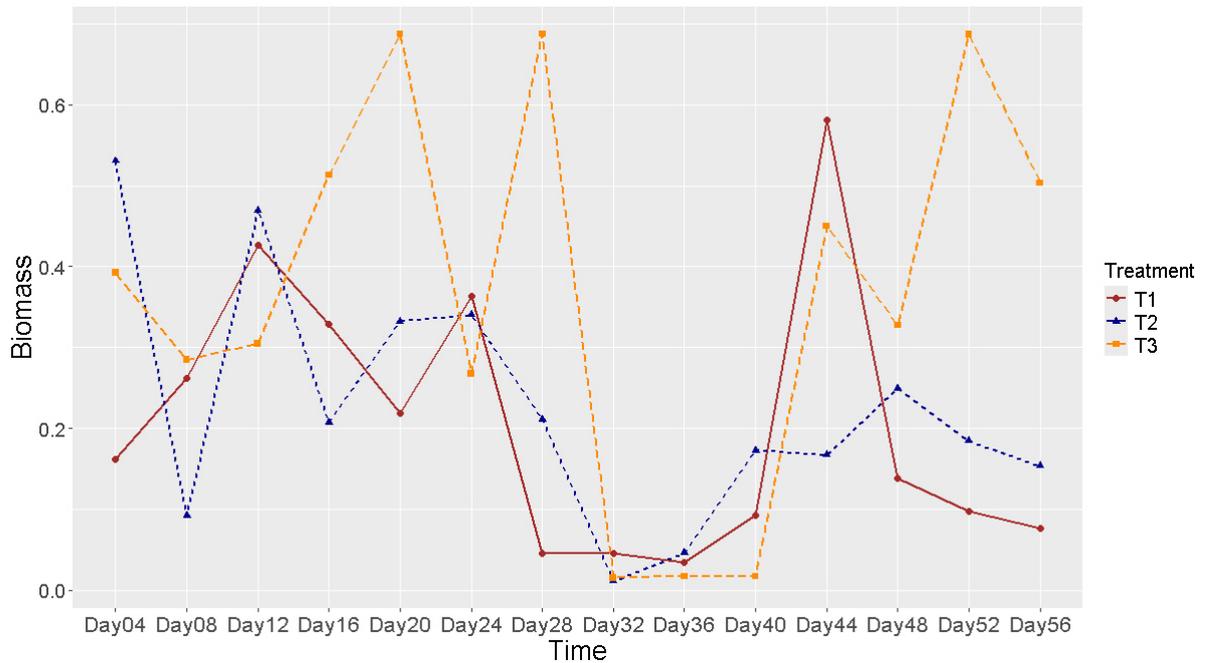


Figura 4. Valores de biomassa nos mesocosmos ao longo dos dias nos tratamentos T1(28°C), T2 (30°C) e T3(32°C).

4 DISCUSSÃO

Nosso estudo experimental demonstrou que mudanças sutis na temperatura alteram tanto as variáveis ambientais quanto a biomassa das algas perifíticas. Os mesocosmos à 32°C apresentaram em média maiores valores de turbidez que os demais tratamentos (28° e 30°C), já a água do controle apresentou associação com maiores valores de oxigênio dissolvido e pH ao longo do tempo de estudo. Também observamos que todos os tratamentos no quarto dia de colonização apresentaram os maiores valores de turbidez, enquanto que os dias a partir do 16° dia de colonização em diante foram relacionados aos maiores valores de temperatura e condutividade elétrica.

A hipótese de que os mesocosmos do tratamento T3 (32°C) teriam maiores valores de biomassa de algas perifíticas e T1 (28°C) teria os menores valores foi corroborada. Por outro lado, não houve variação significativa da biomassa ao longo do tempo, onde as variações correspondentes aos 20°, 28° e 52° dias de colonização podem ser explicadas pela variação na estrutura da comunidade que ocorre durante o processo de sucessão, resultando em um aumento da biomassa, corroborando com resultados de outros estudos realizados em ambientes tropicais (Pellegrini e Ferragut, 2012).

Embora não tenha apresentado grandes variações no gradiente de temperatura, chegando a atingir em média 1°C de diferença entre os tratamentos, esta pequena variação foi

suficiente para elevar a biomassa do perifíton, demonstrando que possivelmente estas temperaturas estão em consonância com a taxa fotossintética ótima (De Nicola, 1996; Wu, 2017) dos organismos presentes no local de estudo, sobretudo para ambientes de regiões tropicais (Casartelli e Ferragut, 2015). Além disso, o perifíton é capaz de se ajustar a certas elevações na temperatura pela adaptação fisiológica de compensação enzimática (De Nicola, 1996). Para o panorama climático, a relação positiva entre o crescimento das algas a temperaturas mais elevadas pode acarretar em certo aumento da produtividade de ambientes aquáticos lênticos e rasos (Jeppesen, Beklioglu e Zadereev, 2023; Ozkan et al., 2023), sobretudo em ambientes eutrofizados (Ozkan et al., 2010; Dong et al., 2020).

Nossos resultados corroboram com outros estudos que demonstraram a importância da regulação da temperatura da água para o desenvolvimento do perifíton, como o de Rodrigues e Bicudo (2004) em planícies de inundação, que demonstraram que maiores temperaturas estiveram relacionadas com o maior desenvolvimento da biomassa perifítica. Outros experimentos de mesocosmos como o de Patrick et al. (2012) mostraram maior crescimento do perifíton com o aumento da temperatura, no qual a biomassa também foi melhor explicada pela temperatura da água com um aumento na concentração em águas mais quentes. Cao et al. (2014) demonstraram que em lagos subtropicais o aumento da temperatura proporciona o aumento da produtividade e biomassa de algas perifíticas.

Para o processo de sucessão do perifíton houveram picos de crescimento nos tratamentos T1 e T3, os quais demonstram a menor e a maior temperatura, respectivamente. Em T1 a 28°C foram observados três picos de biomassa, nos 12º, 24º e 44º dias de colonização, em intervalos de 12 e 20 dias. Enquanto T3 a 32°C apresentou quatro picos de biomassa nos 20º, 28º, 44º e 52º dias de colonização, com intervalos de 8 dias entre os dois primeiros e dois últimos picos e de 16 dias entre o segundo e terceiro pico. Dessa forma, em T1 os intervalos entre os picos de crescimento são maiores do que em relação a T3, corroborando a hipótese de que o perifíton teria crescimento acelerado em maiores temperaturas. Estes resultados também corroboram outros padrões demonstrados em estudos anteriores que as algas perifíticas podem apresentar comunidades clímax em média com 20 dias de colonização em ambientes mais quentes (Kishi et al., 2005; Esteves, 2011), e que ambientes mais frios o clímax da comunidade pode ser mais tardio (Rosa et al., 2013), como em T1 que apresentou pico aos 44 dias de colonização.

5 CONCLUSÃO

A produção de biomassa da comunidade perifítica respondeu aos distintos tratamentos de temperatura, com maiores valores de biomassa para o tratamento de maior temperatura (32°C). A temperatura também determinou os intervalos entre as microssucessões em cada tratamento, sejam eles de forma mais lenta ou mais rápida. Assim concluímos que a temperatura é uma variável de influência direta na produção de biomassa perifítica e no processo sucessional da comunidade.

6 REFERÊNCIAS

- Albay, M.; Akcaalan, R. Comparative study of periphyton colonization on common reed (*Phragmites australis*) and artificial substrate in a shallow lake, Manyas, Turkey. *Hydrobiologia*, v. 506-509, n. 1-3, p. 531–540, 2003. doi:10.1023/b:hydr.0000008606.69572.f6
- Albay, M.; Akçaalan, R. Effects of water quality and hydrologic drivers on periphyton colonization on *Sparganium erectum* in two Turkish lakes with different mixing regimes, *Environ Monit Assess.* v. 146, p. 171–181, 2008. doi: 10.1007/s10661-007-0069-5.
- APHA; AWWA; WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22ª edição. Washington DC: APHA, 2012.
- Azim, M. E.; Verdegem, M. C.; van Dam, A. A.; Beveridge, M. C. (eds). *Periphyton: ecology, exploitation and management*. CABI, Wallingford, 2005.
- Biggs, B. J. F.; Stevenson, R. J.; Lowe, R. L. A habitat matrix conceptual model for stream Periphyton. *Archiv Hydrobiologie*, v. 143, n. 1, 21-56 p., 1998.
- Biolo S.; Algarte, V. M.; Rodrigues, L. Composition and taxonomic similarity of the periphytic algal community in different natural substrates in a neotropical floodplain, Brazil. *African Journal of Plant Science*, v. 9, n. 1, 17-24 p., 2015. Doi: 10.5897/AJSP2014.1239.
- Bondar-Kunze E.; Kasper, V.; Hein, T. Responses of periphyton communities to abrupt changes in water temperature and velocity, and the relevance of morphology: A mesocosm approach. *Science of Total Environment*, v. 768, 145200 p., 2021. Doi:

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145200>

- Butterwick, C.; Heaney, S. I.; Talling, J. F. Diversity in the influence of temperature on the growth rates of freshwater algae, and its ecological relevance. *Freshwater Biology*, v. 50, n. 2, p. 291–300, 2005. doi:10.1111/j.1365-2427.2004.01317.x
- Cao, Y., Li, W. & Jeppesen, E. The response of two submerged macrophytes and periphyton to elevated temperatures in the presence and absence of snails: a microcosm approach. *Hydrobiologia*. v. 738, p. 49–59, 2014.
- Casartelli, M. R.; Ferragut, C. Seasonal variation in the periphytic algal community structure on *Panicum repens* in a shallow reservoir. *Rodriguésia*. v. 66, n. 3, p. 745-757, 2015. doi: 10.1590/2175-7860201566306
- Chu, Z.; Xiangcan, J.; Iwami, N.; Inamori, Y. The effect of temperature on growth characteristics and competitions of *Microcystis aeruginosa* and *Oscillatoria mougeotii* in a shallow, eutrophic lake simulator system. *Hydrobiologia*, v. 581, n. 1, p. 217-223, 2007.
- De Nicola, D. M. Periphyton responses to temperature at different ecological levels. In: Stevenson, J. R., Bothwell, M. L.; Lowe, R. L. (Eds.). *Algal ecology: freshwater benthic ecosystems*. New York: Academic Press, San Diego: 641-667, 1996.
- Dong, B., Zhou, Y., Jeppesen, E., Shi, K., & Qin, B. (2021). Response of community composition and biomass of submerged macrophytes to variation in underwater light, wind and trophic status in a large eutrophic shallow lake. *Journal of Environmental Sciences*, 103, 298–310. doi:10.1016/j.jes.2020.11.027
- Dunck, B.; Bortolini, J. C.; Rodrigues, L. C.; Jati, S.; Train, S.; Rodrigues, L. Flood pulse drives functional diversity and adaptative strategies of planktonic and periphytic algae in isolated tropical floodplain lake (Brazil). *Brazilian Journal of Botany*, v. 36, n. 4, p. 257-266, 2013.
- Dunck, B.; Rodrigues, L.; Bicudo, D. C. Functional diversity and functional traits of periphytic algae during a short-term successional process in a Neotropical floodplain lake. *Braz. J. Biol.*, 2015, vol. 75, no. 3, p. 587-597, 2015. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.17813>

- Esteves, F. A. Fundamentos de Limnologia. 3 ed. Editora Interciência, ISBN: 978-85-7193-271-5, 826p. 2011.
- Ferragut, C., Bicudo, D.C. 2010. Periphytic algal community adaptive strategies in N and P enriched experiments in a tropical oligotrophic reservoir. *Hydrobiologia*, 646 (1), 295–309. doi:10.1007/s10750-010-0168-0
- Ferragut, C., Bicudo, DC, 2012. Efeito do enriquecimento de N e P na sucessão da comunidade de algas perifíticas em um reservatório oligotrófico tropical. *Limnologia* 13, 131e141.
- Fránková, M., Šumberová, K., Potuák, J., & Vild, O. 2017. The role of plant substrate type in shaping the composition and diversity of epiphytic diatom assemblages in a eutrophic reservoir. *Fundamental and Applied Limnology*, 189(2): 117-135
- Golterman, H., Clymo, R., Ohmstad, M., 1978. *Methods for Physical and Chemical Analysis of Freshwaters*, IBP Handbook. Blackwell Scientific, Oxford.
- Hao, B.; Wu, H.; Zhen, W.; Jo, H.; Cai, Y.; Jeppesen, E.; Li, Wei. Warming Effects on Periphyton Community and Abundance in Different Seasons Are Influenced by Nutrient State and Plant Type: A Shallow Lake Mesocosm Study. *Front. Plant Sci.* v.11, p. 404, 2020. doi: 10.3389/fpls.2020.00404
- Hoagland, K. D., Roemer, S. C., & Rosowski, J. R. (1982). Colonization and Community Structure of Two Periphyton Assemblages, with Emphasis on the Diatoms (Bacillariophyceae). *American Journal of Botany*, 69(2), 188. doi:10.2307/2443006
- Jeppesen, E.; Meerhoff, M.; Holmgren, K.; González-Bergonzoni, I. et al. Impacts of climate warming on lake fish community structure and potential effects on ecosystem function. *Hydrobiologia*. v. 646, p. 73–90, 2010. Doi: 10.1007/s10750-010-0171-5.
- Jeppesen, E.; Beklioglu, M.; Zadereev, E. The Effects of Global Climate Change on Water Level and Salinity: Causes and Effects. *Water*. v. 15, p. 2853, 2023. Doi: <https://doi.org/10.3390/w15152853>
- Kishi, D.; Murakami, M.; Nakano, S.; Maekawa, K. Water temperature determines strength of top-down control in a stream food web. *Freshwater Biology*. v. 50, n. 8, p. 1315–1322, 2005. doi:10.1111/j.1365-2427.2005.01404.x

- Lane, C. M.; Taffs, K. H.; Corfield, J. L. A comparison of diatom community structure on natural and artificial substrata. *Hydrobiologia* v. 493, p. 65–79, 2003.
- Merbt, S. N.; Kroll, A.; Sgier, L.; Tlili, A.; Schirmer, K.; Behra, R. Fate and effects of microplastic particles in a periphyton-grazer system. *Environmental Pollution*, v. 347, 123798 p., 2024. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123798>
- Murakami, E. A.; Rodrigues, L. Resposta das algas perifíticas às alterações de temperatura e ao enriquecimento artificial de nutrientes em curto período de tempo. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*. v. 31, n. 3, p. 273-284, 2009. <https://doi.org/10.4025/actascibiolsoci.v31i3.1627>.
- Ozkan, K.; Jeppesen, E.; Johansson, L. S.; Beklioglu, M. The response of periphyton and submerged macrophytes to nitrogen and phosphorus loading in shallow warm lakes: a mesocosm experiment. *Freshwater Biology*. v. 55, n. 2, p. 463–475, 2010. doi:10.1111/j.1365-2427.2009.02297.x
- Özkan, K.; Korkmaz, M.; Amorim, C.A.; Yılmaz, G.; Koru, M.; Can, Y.; Pacheco, J.P.; Acar, V.; Çolak, M.A.; Yavuz, G.C.; et al. Mesocosm Design and Implementation of Two Synchronized Case Study Experiments to Determine the Impacts of Salinization and Climate Change on the Structure and Functioning of Shallow Lakes. *Water*. v. 15, p. 2611, 2023. Doi: <https://doi.org/10.3390/w15142611>
- Pacheco, J. P.; Calvo, C.; Aznarez, C.; Barrios, M.; Meerhoff, M.; Jeppesen, E.; Baattrup-Pedersen, A. Periphyton biomass and life-form responses to a gradient of discharge in contrasting light and nutrients scenarios in experimental lowland streams. *Science of Total Environment*, v. 806, 150505 p., 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150505>.
- Pan T., Cui C., Qin B., Ding K., Zhou J. Climate change intensifies algal biomass resurgence in eutrophic Lake Taihu, China, *Science of The Total Environment*, Volume 926, 2024, 171934, ISSN 0048-9697, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171934>.
- Pedregal-Montes, A.; Jennings, Eleanor.; Kothawala, D.; Jones, K.; Sjöstedt, J.; Langenheder, S.; Marcé, R.; Farré, M. J. Disinfection by-product formation potential in response to variability in dissolved organic matter and nutrient inputs: Insights from a mesocosm study, *Water Research*, v. 258, p. 121791, 2024. Doi:

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121791>.

- Pellegrini, B. G.; Ferragut, C. Variação sazonal e sucessional da comunidade de algas perifíticas em substrato natural em um reservatório mesotrófico tropical. *Acta Botanica Brasilica*. v. 26, n. 4, p. 810-821, 2012.
- Reis, N. R.; Gallo, P.; Peracchi, A. L. Sensitivity of populations of bats (Mammalia: Chiroptera) in relation to human development in northern Paraná, 99 southern Brazil. *Brazilian Journal of Biology, São Carlos*, v. 72, n. 3, p. 511-518, 2012.
- Rodrigues, L.; Bicudo, D. C. Periphytic algae. In: THOMAZ, S.M. et al. (eds) *The Upper Paraná River and its Floodplain: Physical aspects, Ecology and Conservation*. The Netherlands: Backhuys Publishers, cap. 6, p.125-143, 2004.
- Rodrigues, L.; Bicudo, D. C. Similarity among periphyton algal communities in a lentic-lotic gradient of the upper Paraná river floodplain, Brazil. *Revta brasil. Bot.*, São Paulo, v. 24, n. 3, p.235-248, 2001.
- Rosa, J.; Ferreira, V.; Canhoto, C.; Graça, M. A. S. Combined effects of water temperature and nutrients concentration on periphyton respiration - implications of global change. *International Review of Hydrobiology*, v. 98, n. 1, p. 14–23, 2013. doi:10.1002/iroh.201201510
- Rühland, K.M.; Paterson, A. M.; Smol, J. P. Lake diatom responses to warming: reviewing the evidence. *Journal of Paleolimnology* v. 54, p. 1-35, 2015.
- Schneck, F.; Melo, A. S. Hydrological disturbance overrides the effect of substratum roughness on the resistance and resilience of stream benthic algae. *Freshwater biology*, 2012. doi:10.1111/j.1365-2427.2012.02830.x.
- Singh, S.; James, A.; Bharose R. Biological Assessment of Water Pollution Using Periphyton Productivity: A Review. *Nature Environment & Pollution Technology*. v. 16, n. 2, p. 559-567, 2017.
- Stevenson, R. J. Benthic algal community dynamics in a stream during and after a spate. *J. N. Am. Benthol. Soc.* V. 9, n. 3, p. 277-288 ,1990.
- Stewart, R. I. A.; Dossena, M.; Bohan, D. A.; Jeppesen, E. et al. Mesocosm Experiments as a

Tool for Ecological Climate-Change Research. *Advances in Ecological Research*, p. 71–181, 2013. doi:10.1016/b978-0-12-417199-2.00002-1

Vercellino, I. S.; Bicudo, D. C. Sucessão da comunidade de algas perifíticas em reservatório oligotrófico tropical (São Paulo, Brasil): comparação entre período seco e chuvoso. *Revista Brasil. Bot.*, V.29, n.3, p.363-377, 2006.

Vieira, D. B.; Shibatta, O. A. Peixes como indicadores da qualidade ambiental do ribeirão Esperança, município de Londrina, Paraná, Brasil. *Biota Neotrop.* v. 7, n. 1, 2007. <http://www.biotaneotropica.org.br/v7n1/pt/abstract?article+bn01407012007>

Wu, Y. Chapter 2 - The Living Environment of Periphyton. In: Wu, Y. *Periphyton: Functions and Application in Environmental Remediation*. Ed (s): Wu, Y., Elsevier, 35-70 p., 2017. ISBN 9780128010778, doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801077-8.00002-8>.

7 MATERIAL SUPLEMENTAR

Foram calculadas as médias de biomassa perifítica (Tabela S1) aderida aos substratos artificiais, destacando-se as variações de temperatura ao longo dos dias de coleta. O maior pico de biomassa (5,2383 µg) foi registrado no tratamento 32°C, especificamente aos 20 dias após o início do experimento. Em contraste, a menor quantidade foi observada aos 32 dias a 30°C, alcançando o valor de (0,011538 µg).

Tabela S1 - Média de biomassa perifítica (µg) – Clorofila a por dia e por temperatura.

DIAS	28 °C	30°C	32°C
	Biomassa µg	Biomassa µg	Biomassa µg
4	0,1615	0,5307	0,3923
8	0,2615	0,0923	0,2846
12	0,4269	0,4692	2,2730
16	0,3288	0,2077	3,1230
20	0,2192	0,3323	5,2383
24	0,3634	0,3404	0,2677

28	0,0462	1,3076	1,2634
32	0,0462	0,0115	0,0154
36	0,0346	0,0462	0,0173
40	0,0923	0,1731	0,0173
44	0,5815	0,1673	0,4500
48	0,1385	0,2492	0,3277
52	0,0981	0,1846	0,6865
56	0,0769	0,1538	0,5031

Tabela S2 - Concentração dos nutrientes Amônio (mg N-NH₄/L) e Nitrato (mg N-NO₃/L) ao longo dos dias de colonização nos distintos tratamentos.

Dias de colonização	Tratamento	Amônio (mg N-NH ₄ /L)	Nitrato (mg N-NO ₃ /L)
16	T1(28°C)	0.5	3.14
28	T1(28°C)	0.5	1.11
40	T1(28°C)	0.5	1.6
16	T2(30°C)	0.07	2.2
28	T2(30°C)	0.06	0.67
40	T2(30°C)	0.5	0.73
16	T3(32°C)	0.33	1.19
28	T3(32°C)	0.21	2.12
40	T3(32°C)	0.5	2.26



Figura S1. (A) Tanque 02 do LEACEN-UEL, (B) Mesocosmos e (C) Instalação dos substratos em campo. Fonte: Pinheiro (2022)

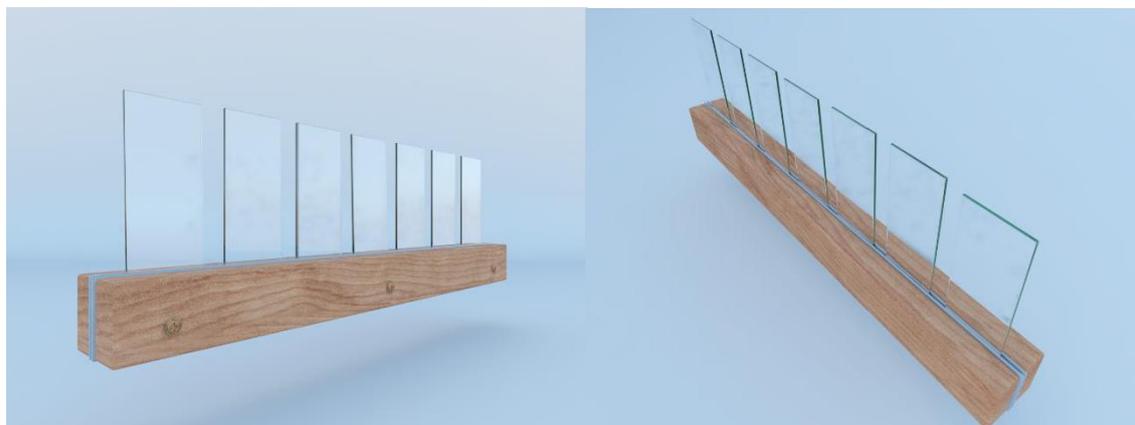


Figura S2. Esquema tridimensional do perifitômetro ambientes da Mata Atlântica. Fonte: Pinheiro (2022).

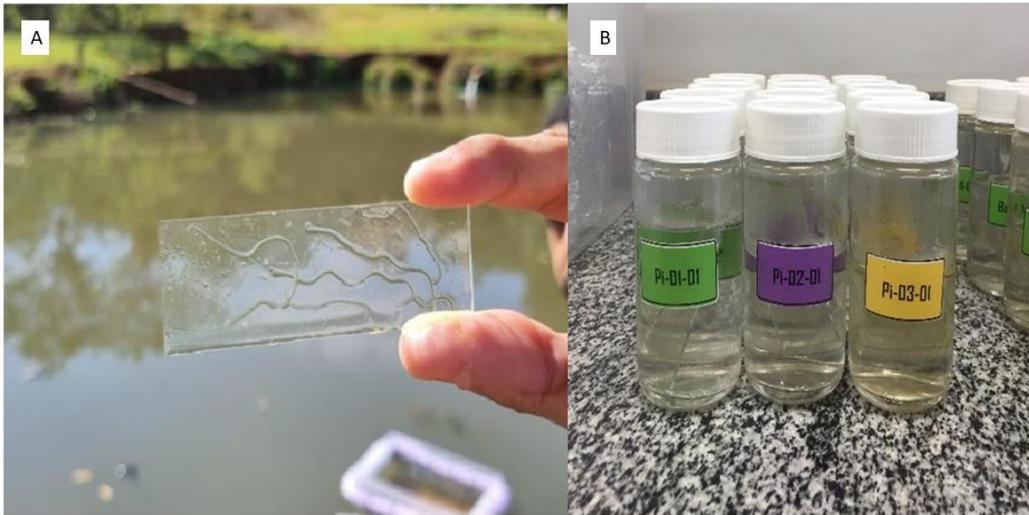


Figura S3. A- Lâmina colonizada; B - Frascos etiquetados contendo lâminas. Fonte Pinheiro (2022)

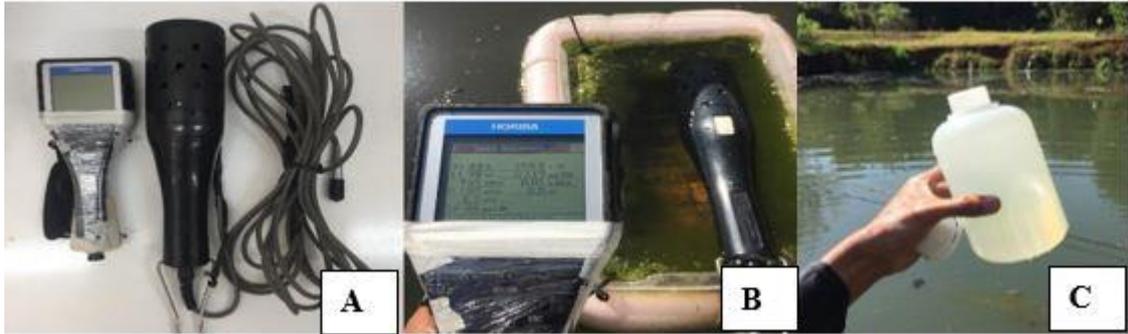


Figura S4. A - Sonda multiparamétrica; B - Aferição em campo; C - Coleta de dados abióticos, nutrientes. Fonte: Pinheiro (2022)

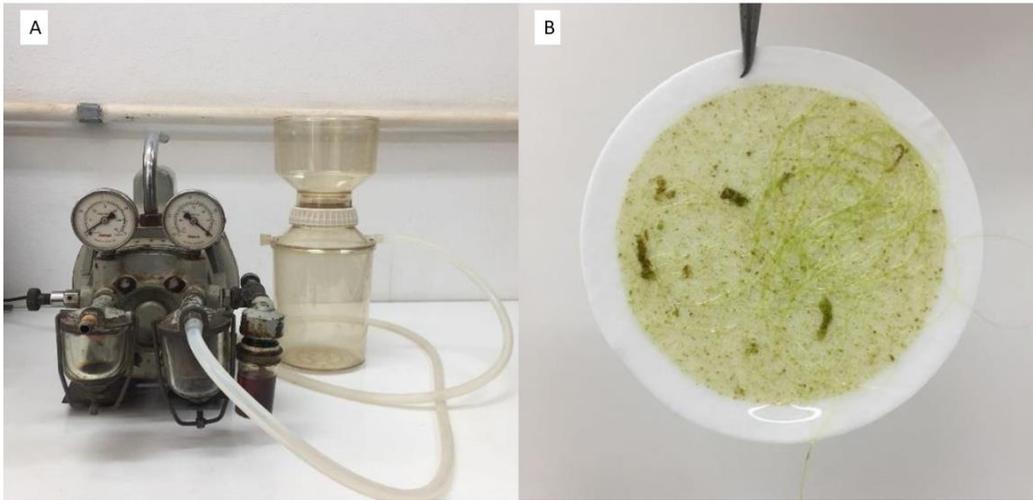


Figura S5. Extração de Clorofila α e c . A - Bomba de sucção; B - Filtro contendo material filtrado para análises. Fonte: Pinheiro (2022).