



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS – RIO CLARO**



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGIA VEGETAL)**

**CRESCIMENTO E DISTRIBUIÇÃO DE DUAS ESPÉCIES DE MACRÓFITAS
AQUÁTICAS SUBMERSAS EM DIFERENTES CONDIÇÕES AMBIENTAIS**

RENAN TAVEIRA

**Rio Claro – SP
2022**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGIA VEGETAL)**

**CRESCIMENTO E DISTRIBUIÇÃO DE DUAS ESPÉCIES DE MACRÓFITAS
AQUÁTICAS SUBMERSAS EM DIFERENTES CONDIÇÕES AMBIENTAIS**

RENAN TAVEIRA

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas (Biologia Vegetal).

**Rio Claro – SP
2022**

T232c Taveira, Renan
Crescimento e distribuição de duas espécies de macrófitas aquáticas submersas em diferentes condições ambientais / Renan Taveira. -- Rio Claro, 2022
89 f. : il., tabs., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências, Rio Claro
Orientador: Antonio Fernando Monteiro Camargo

1. Ecologia aquática. 2. Macrófitas aquáticas. 3. Distribuição de plantas. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp.
Biblioteca do Instituto de Biociências, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS – RIO CLARO



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: CRESCIMENTO E DISTRIBUIÇÃO DE DUAS ESPÉCIES
DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS SUBMERSAS EM
DIFERENTES CONDIÇÕES AMBIENTAIS

AUTOR: RENAN TAVEIRA

ORIENTADOR: ANTONIO FERNANDO MONTEIRO CAMARGO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em CIÊNCIAS
BIOLÓGICAS (BIOLOGIA VEGETAL), área: Biologia Vegetal pela Comissão
Examinadora:

Prof. Dr. ANTONIO FERNANDO MONTEIRO CAMARGO

Instituto de Biociências | UNESP - Rio Claro (SP)

Prof. Dr. CIRO CEZAR ZANINI BRANCO

Faculdade de Ciências e Letras | UNESP – Assis (SP)

Prof. Dr. IRINEU BIANCHINI JUNIOR

Departamento de Hidrobiologia | UFSCar – São Carlos (SP)

Rio Claro, 28 de janeiro de 2022

Dedico este trabalho a
toda a minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente ao meu orientador Prof. Antonio Camargo por todos os ensinamentos e conversas frutíferas que sempre tivemos, acreditando no meu potencial. Sua disposição e paixão em ensinar são contagiantes, estando sempre disposto a auxiliar no que for preciso. Com certeza o seu incentivo e cobranças foram essenciais para chegar neste momento, ainda mais neste período de Pandemia. Sou extremamente honrado de ser seu orientado e poder contribuir com os estudos na bacia do rio Itanhaém!

Agradeço também ao professor Antonio e a toda equipe da Associação Brasileira de Limnologia (ABLimno) por me dar a oportunidade de trabalhar como assistente editorial de *Acta Limnologica Brasiliensia*, um trabalho que vem sendo muito prazeroso e que com certeza me auxiliou durante o trajeto acadêmico.

Ao técnico Carlinhos, do Departamento de Biodiversidade da UNESP, que sempre nos incentivava e nos alegrava com suas piadas e trocadilhos, além de ter sido essencial para a realização de todas as etapas do projeto. Muito obrigado pelo companheirismo de sempre!

Agradeço a Laís, pelo companheirismo durante toda a minha estadia presencial e a distância no Laboratório de Ecologia Aquática da UNESP, sempre se dispondo a ajudar no que fosse necessário. Agradeço também ao Alfredo, pela companhia em alguns momentos no laboratório e em campo. Muito obrigado pela amizade e pela ajuda durante meus experimentos e análise de dados!

Agradeço ao Nico, Seu Zé e a Dona Neusa pela atenção ímpar e recepção sempre calorosa no Centro de Pesquisas do Rio Itanhaém, além de nos propiciarem ótimas refeições!

Agradeço a Dra. Cristiane Umetsu, Dr. Douglas Toledo e Dr. Tadeu Siqueira de Barros, pelo auxílio com as análises estatísticas e interpretação dos dados.

Meus agradecimentos ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Biologia Vegetal) e ao Departamento de Biodiversidade da UNESP – Rio Claro, e todos seus funcionários que trabalham arduamente para manter e aprimorar a universidade pública em nosso país.

Aos meus pais, Rosana e José Carlos, pelo incansável apoio e carinho desprendido por eles durante toda minha trajetória acadêmica. Pais, sem vocês eu jamais conseguiria minhas conquistas, muito obrigado pelo amor que me dão e por serem sempre meu porto seguro!

À Thays, minha companheira por todo o mestrado, que sempre me apoiou em todos os momentos. Obrigado por todo seu carinho e por corrigir o meu trabalho quando necessário, além de me aguentar, você foi essencial nesta etapa de minha vida!

Um abraço especial aos meus amigos do coração da UNIFAL-MG – Alfenas, Luiz Otávio, Adolfo, Thaís, Lucas, Gabriel e tantos outros que fizeram e fazem parte de minha vida. Muito obrigado pelos momentos de descontração e conversas que sempre temos em nosso tempo livre! Obrigado também aos meus queridos amigos de Jundiaí, Tales e Leo. Acompanhamos a trajetória uns dos outros desde a infância, e espero poder continuar acompanhando e apoiando a trajetória de vocês para sempre!

Agradeço aos membros da banca examinadora, prof. Ciro Branco e prof. Irineu Bianchini Jr., pela disposição em auxiliar no aprimoramento do trabalho e pela participação na defesa da dissertação.

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – Processo 134034/2019-8

RESUMO

A distribuição de espécies vegetais é um tema frequente nos estudos ecológicos de comunidades. Podemos relacionar os padrões de distribuição com diversas variáveis bióticas e abióticas. Em ambientes costeiros do Estado de São Paulo, que possui clima e regime de chuva homogêneos, características geológicas e geomorfológicas distintas, além de diversos tipos de uso e ocupação do solo, encontramos uma grande riqueza de espécies vegetais que respondem a estas diferentes características, inclusive de espécies de macrófitas aquáticas. Neste estudo verificamos a porcentagem de ocorrência de *Egeria densa* Planch. e *Cabomba furcata* Schultz. e Schultz., espécies de macrófitas aquáticas submersas, em um trecho do rio Branco, na bacia do rio Itanhaém, litoral sul do Estado de São Paulo, e verificamos como a pluviosidade pode influenciar temporalmente e espacialmente na ocorrência delas neste trecho. Também analisamos como diferentes níveis de radiação fotossinteticamente ativa (*Photosynthetically Active Radiation – PAR*) podem influenciar no crescimento e desenvolvimento destas duas espécies. Escolhemos o rio Branco para coletar nossos dados pois verificamos variações constantes na distribuição destas espécies neste trecho do rio ao longo do tempo. A coleta dos dados de presença de bancos das duas espécies foi realizada entre os anos de 2012 e 2020 e, em seguida, calculamos a porcentagem de ocorrência de cada uma. Coletamos os dados de pluviosidade acumulada de dias anteriores a cada coleta pela estação pluviométrica do Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (DAEE). Plotamos os dados de ocorrência e pluviosidade em gráficos *boxplot* para verificarmos a existência destes padrões temporais e espaciais. Em seguida verificamos a significância de cada variável testada e a estimativa que cada uma das variáveis representa através de Análises de Variância (ANOVA fatorial) e Modelos Lineares Generalizados (*Generalized Linear Models – GLM*). Para verificar o efeito da PAR no crescimento de *E. densa* e *C. furcata*, montamos um experimento aleatorizado, com quatro tratamentos de diferentes níveis de luminosidade e dez réplicas de indivíduos de *E. densa* e *C. furcata* cada. O experimento teve duração de 30 dias e medimos o comprimento dos rametes a cada dois dias. Calculamos então a biomassa e o ganho de biomassa através de uma regressão linear simples. Aos dados de biomassa, ajustamos as retas de crescimento e obtivemos os coeficientes de inclinação das retas, e aos dados de ganho de biomassa aplicamos uma ANOVA unidirecional para

verificar diferenças significativas entre os tratamentos. Nossos resultados mostraram que *E. densa* e *C. furcata* tem maior chance de ocorrência no subtrecho superior do que no inferior, apresentando também uma variação temporal, porém sem padrão sazonal e sem influência da pluviosidade nesta distribuição. *E. densa* apresentou maior crescimento no tratamento com maior luminosidade, enquanto *C. furcata* se desenvolveu mais no tratamento com menor luminosidade. Nossos resultados apontam que as duas espécies têm diferentes preferências quanto a disponibilidade de luz, que pode influenciar na ocorrência destas espécies nos ambientes aquáticos, porém mais estudos são necessários para tentar entender quais variáveis influenciam na distribuição destas espécies na bacia do rio Itanhaém.

Palavras-chaves: Porcentagem de ocorrência, *Egeria densa*, *Cabomba furcata*, variáveis abióticas, biomassa, *GLM*.

ABSTRACT

The distribution of plant species is a recurrent subject in ecological studies of communities. We can relate the distribution patterns with several biotic and abiotic variables. In coastal environments in the State of São Paulo, which has homogeneous climate and rainfall, distinct geological and geomorphological characteristics, different types of land use and occupation, we find a great richness of plant species that respond to these different characteristics, including aquatic macrophyte species. In this study we verified the occurrence of *Egeria densa* Planch. and *Cabomba furcata* Schultz. and Schultz., two species of submerged aquatic macrophytes, in a stretch of the Branco river, in the Itanhaém river basin, south coast of the State of São Paulo, and we verified how the rainfall can influence the temporal and spatial occurrence of both in this stretch. We also sought to verify how different levels of photosynthetically active radiation (PAR) can influence the growth and development of these two species. The sampling was carried out between the years of 2012 and 2020, in a stretch of the Branco river, as we verified constant variations in the distribution of these species in this over a period of time. Therefore, we calculated the percentage of occurrence of each species in this stretch. Additionally, we gathered data for accumulated rainfall from days prior to each sample in the São Paulo *Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE)* rainfall database. We plotted the occurrence and rainfall data into boxplots to verify the existence of temporal and spatial patterns. We then verified the significance of each variable and calculated the estimative that each significant variable represents through an Analysis of Variance (Two-way ANOVA) and Generalized Linear Models (GLM), respectively. To verify the effect of PAR on the growth of *E. densa* and *C. furcata*, we set up a randomized experiment, with four treatments of different light levels each and ten replicates of individuals of *E. densa* and *C. furcata*. The experiment lasted for 30 days and we measured the length of the ramets each two days. We then calculated the biomass and the gain of biomass using a simple linear regression. To the biomass data, we fitted the growth lines and obtained the slope coefficients of the lines. To verify significant differences between treatments, we ran a one-way ANOVA. Our results showed that *E. densa* and *C. furcata* are more likely to occur in the upper subsection than in the lower one, also presenting a temporal variation, however with no apparent seasonal pattern and with no influence of the rainfall in the occurrence. *E. densa* showed greater development in the treatment with

more light availability, while *C. furcata* had a greater development in the treatment with less light availability. Our results showed that both species have different preferences regarding the light availability, which can influence the occurrence of these species in aquatic environments, but more studies are needed to try to understand which variables influence the distribution of these species in the Itanhaém river basin.

Keywords: Percentage of occurrence, *Egeria densa*, *Cabomba furcata*, abiotic variables, biomass, GLM.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1: OCORRÊNCIA DE DUAS ESPÉCIES DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS SUBMERSAS EM UM RIO TROPICAL: INFLUÊNCIA DA PLUVIOSIDADE NA VARIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL

Figura 1. Bacia hidrográfica do rio Itanhaém, destacando as diferentes feições que a compõem e alguns dos principais usos e ocupação do solo.....27

Figura 2. Pluviosidade nos meses de (A) agosto de 2010, (B) fevereiro de 2012, (C) fevereiro de 2019 e (D) fevereiro de 2020. Dados coletados no banco de dados hidrológicos do DAEE, estação pluviométrica FE-002 – Mongaguá/SP (altitude 20,0 m; Lat 24° 05' 00" e Lon 46° 37' 00".....29

Figura 3. Trecho amostrado, em azul, no subtrecho do rio Branco, bacia hidrográfica do Rio Itanhaém, sudeste do Estado de São Paulo. Destacamos o ponto dividindo os dois subtrechos da bacia.....33

Figura 4. Porcentagem de ocorrência de *E. densa* (linha verde) e *C. furcata* (linha vermelha) entre a primavera de 2016 (novembro/2016) e o verão de 2020 (março/2020) e pluviosidade acumulada dos 30 dias anteriores a amostragem dos bancos de macrófitas37

Figura 5. Exemplos da distribuição dos bancos de *E. densa* e *C. furcata* no trecho amostrado do rio Branco em três coletas: (A) abril de 2016; (B) agosto de 2018; e (C) novembro de 2018.39

Figura 6. Porcentagem de ocorrência de bancos de *E. densa* e *C. furcata* em todo o trecho amostrado do rio Branco entre os anos de 2012 e 2019.....40

Figura 7. Porcentagem de ocorrência de *E. densa* nos dois subtrechos (superior e inferior), nas quatro estações (inverno, outono, primavera e verão).41

Figura 8. Porcentagem de ocorrência de *C. furcata* nos dois subtrechos (superior e inferior) e nas quatro estações (inverno, outono, primavera e verão).42

Figura 9. Relação entre a porcentagem de ocorrência estimada de *E. densa* com a pluviosidade acumulada de (A) 05 dias anteriores a coleta, (B) 10 dias anteriores, (C) 15 dias, (D) 20 dias, (E) 25 dias e (F) 30 dias, em todas as quatro estações amostradas, nos subtrechos superior e inferior.....44

Figura 10. Relação entre a porcentagem de ocorrência estimada de *C. furcata* com a pluviosidade acumulada de (A) 05 dias anteriores a coleta, (B) 10 dias anteriores, (C) 15 dias, (D) 20 dias, (E) 25 dias e (F) 30 dias, em todas as quatro estações amostradas, nos subtrechos superior e inferior.....46

CAPÍTULO 2: INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA (PAR) NO CRESCIMENTO DE DUAS ESPÉCIES DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS SUBMERSAS

Figura 1. Radiação fotossinteticamente ativa durante todo o período do experimento (30 dias), em cada um dos tratamentos, por espécie. (A): Tct – 0% de sombreamento; (B) T1 – 30% de sombreamento; (C) T2 – 50%; e (D) T3 – 70%.64

Figura 2. Esquema com a disposição dos aquários, com cada um dos tratamentos, na casa de vegetação. Os retângulos verdes representam os aquários com *E. densa* e os vermelhos com *C. furcata*.....65

Figura 3. Experimento montado na casa de vegetação. (A) vista geral do experimento; (B) cultivo de <i>C. furcata</i> ; (C) cultivo de <i>E. densa</i>	66
Figura 4. Média e desvio padrão da biomassa acumulada de <i>E. densa</i> (círculos verdes) e <i>C. furcata</i> (quadrados vermelhos) ao longo do tempo, nos diferentes tratamentos. A = Tct; B = T1 (30%); C = T2 (50%); e D = T3 (70%).	70
Figura 5. Regressões lineares da biomassa de <i>E. densa</i> e <i>C. furcata</i> em diferentes luminosidades, mostrando as médias de cada um dos tratamentos e desvio padrão. Círculos verdes = biomassa de <i>E. densa</i> ; quadrados vermelhos = biomassa de <i>C. furcata</i> . A = Tct; B = T1 (30%); C = T2 (50%); e D = T3 (70%).	71
Figura 6. Boxplot apresentando o ganho de biomassa de (a) <i>E. densa</i> e (b) <i>C. furcata</i> nos diferentes tratamentos. Letras diferentes correspondem a diferenças significativas de acordo com o teste de Tuckey; T0 - sem sombreamento, T1-30%, T2-50% e T3-70%.	73
Figura 7. Média e desvio padrão de RGR de <i>E. densa</i> nos quatro tratamentos. Letras diferentes indicam diferença significativa entre períodos. Tct = sem sombreamento; T1 = 30%; T2 = 50%; e T3 = 70%.	75
Figura 8. Média e desvio padrão de RGR de <i>C. furcata</i> nos quatro tratamentos. Letras diferentes indicam diferença significativa entre períodos. Tct = sem sombreamento; T1 = 30%; T2 = 50%; e T3 = 70%.	76

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1: OCORRÊNCIA DE DUAS ESPÉCIES DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS SUBMERSAS EM UM RIO TROPICAL: INFLUÊNCIA DA PLUVIOSIDADE NA VARIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL

Tabela 1. Valores de precipitação média e temperatura média na bacia hidrográfica do Rio Itanhaém. Os valores de precipitação são baseados na série histórica de 83 anos, e os valores de temperatura são médias estimadas através de equações.28

Tabela 2. Variáveis limnológicas amostradas em dois pontos de um trecho do rio Branco, na bacia do rio Itanhaém, em um período de cinco anos. - indica dados que não foram coletados no dia. O ponto 1 está localizado na porção média do trecho final do rio Branco, em um local de baía. O ponto 2 está localizado mais a montante, pouco antes da foz do rio Mambu, um tributário do rio Branco.31

Tabela 3. Meses em que foram amostrados os bancos de *E. densa* e *C. furcata* no trecho do rio Branco, na bacia do rio Itanhaém.34

Tabela 4. Porcentagem de ocorrência das duas espécies de macrófitas aquáticas nas diferentes coletas, entre os anos de 2012 e 2020.38

Tabela 5. Resultados da ANOVA fatorial para a porcentagem de ocorrência de *E. densa*. Os valores significativos estão destacados com um * ($p < 0,05$).43

Tabela 6. Resultados da GLM entre a ocorrência de *E. densa* nos subtrechos inferior e superior do trecho do rio Branco.43

Tabela 7. Resultado da ANOVA fatorial para a porcentagem de ocorrência de *C. furcata*. Os valores significativos estão destacados com um * ($p < 0,05$).45

Tabela 8. Resultado da GLM entre a ocorrência de *C. furcata* nos subtrechos inferior e superior do trecho do rio Branco.45

CAPÍTULO 2: INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA (PAR) NO CRESCIMENTO DE DUAS ESPÉCIES DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS SUBMERSAS

Tabela 1. Desenho experimental do crescimento de *E. densa* e *C. furcata* submetidas a diferentes níveis de radiação fotossinteticamente ativa incidente, descritas aqui como tratamentos Tct, T1, T2 e T3. (2 culturas x 4 tratamentos x 10 réplicas = 80 unidades experimentais)63

Tabela 2. Valores médios e desvio padrão do coeficiente de inclinação de *E. densa* nos tratamentos Tct (sem sombreamento), T1 (30% de sombreamento), T2 (50%) e T3 (70%).72

Tabela 3. Valores médios e desvio padrão do coeficiente de inclinação de *C. furcata* nos tratamentos Tct (sem sombreamento), T1 (30% de sombreamento), T2 (50%) e T3 (70%).72

Tabela 4. Resultados da ANOVA unidirecional para o ganho de biomassa de *E. densa* e *C. furcata*. Os valores significativos estão destacados com um * ($p < 0,05$).73

Tabela 5. Resultados da ANOVA unidirecional para o RGR de *E. densa* e *C. furcata*. Os valores significativos estão destacados com um * ($p < 0,05$)...74

Tabela 6. Média \pm desvio padrão (DP) da taxa de crescimento relativo (RGR) ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) e do tempo de duplicação (DT) de *E. densa* e *C. furcata* para cada um dos tratamentos. Tct = sem sombreamento; T1 = 30%; T2 = 50%; e T3 = 70%..... **Erro! Indicador não definido.**

Tabela 7. Taxa de crescimento relativo (RGR) e tempo de duplicação (DT) de algumas espécies de macrófitas aquáticas em diferentes condições experimentais. S = submersas; F = flutuantes.79

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	16
	REFERÊNCIAS	19
2	CAPÍTULO 1: OCORRÊNCIA DE DUAS ESPÉCIES DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS SUBMERSAS EM UM RIO TROPICAL: INFLUÊNCIA DA PLUVIOSIDADE NA VARIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL	21
2.1	Introdução	21
2.2	Materiais e Métodos	25
2.2.1	<i>Área de estudo</i>	25
2.2.2	<i>Porcentagem de ocorrência das espécies e pluviosidade</i>	32
2.2.3	<i>Avaliação da variação temporal e espacial das espécies <i>E. densa</i> e <i>C. furcata</i></i>	36
2.3	Resultados	36
2.3.1	<i>Porcentagem de ocorrência das espécies</i>	36
2.3.2	<i>Avaliação da variação temporal e espacial das espécies <i>E. densa</i> e <i>C. furcata</i></i>	42
2.4	Discussão	47
2.5	Conclusão	50
	REFERÊNCIAS	51
3	CAPÍTULO 2: INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA (PAR) NO CRESCIMENTO DE DUAS ESPÉCIES DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS SUBMERSAS	60
3.1	Introdução	60
3.2	Materiais e Métodos	62
3.2.1	<i>Regressões lineares</i>	65
3.2.2	<i>Biomassa, ganho de biomassa e taxa de crescimento relativo</i>	67
3.3	Resultados	68
3.3.1	<i>Biomassa</i>	68
3.3.2	<i>Ganho de biomassa</i>	72
3.3.3	<i>Taxa de crescimento relativo (RGR) e tempo de duplicação (DT)</i>	73
3.4	Discussão	75
3.5	Conclusão	80

REFERÊNCIAS	81
4 CONCLUSÃO GERAL	89

1 INTRODUÇÃO GERAL

As bacias hidrográficas litorâneas brasileiras estão sendo cada vez mais ocupadas e degradadas devido a intensa ação humana. Cerca de 58% da população brasileira vive nestas regiões (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2018). No estado de São Paulo a Baixada Santista tem a maior ocupação urbana litorânea do estado desde o início da colonização no Brasil (AFONSO, 2006). Atualmente o intenso turismo de temporadas compõem um fator preponderante na economia desta região litorânea, o que também leva a impactos ambientais nessas bacias (PEGAS; WEAVER; CASTLEY, 2015).

Dentre as bacias do litoral paulista, a bacia hidrográfica do rio Itanhaém é a maior bacia costeira exclusiva do estado de São Paulo, com 944,3 km² (CAMARGO; PEREIRA; PEREIRA, 2002). Seis municípios compõem a bacia, sendo eles Peruíbe, Itanhaém, Mongaguá e São Vicente no litoral e São Paulo e Juquitiba entre a região de planalto e de escarpa. A maior parte das nascentes dos rios se encontram na área de planalto e escarpa, na Serra do Mar, um maciço montanhoso escarpado que ocupa toda a região norte-noroeste, e outras nascentes estão localizadas na região da planície costeira (CAMARGO; CANCIAN, 2016).

Além da área urbana densamente povoada na região da linha de costa, encontramos plantações de bananas, pequenas áreas de cultivo de subsistência e grandes áreas protegidas, se destacando o Parque Estadual da Serra do Mar, que cruza a bacia na região de escarpa e na planície, próximo à serra, e a Área de Proteção Ambiental Capivari-Monos, na região norte, entre o planalto e a região de escarpa. Também encontramos terras indígenas que se sobrepõem parcialmente a estas áreas de preservação.

O complexo mosaico ambiental e geológico proporciona a ocorrência de rios com diferentes tipos de água, no caso, águas claras e cristalinas, águas brancas e barrentas e águas pretas, caracterizadas pela grande quantidade de substâncias húmicas (CAMARGO; CANCIAN, 2016). Cada um destes rios possui características limnológicas específicas, o que permite a ocorrência e uma grande riqueza de espécies e de formas de vida de macrófitas aquáticas por toda a extensão da bacia, em especial na região da planície costeira, onde os rios são mais largos, meândricos e possuem menor velocidade de corrente. Encontramos todas as formas de vida de macrófitas aquáticas nesta bacia (NUNES *et al.*, 2019), dentre elas *Eichhornia azurea* (Sw.) Kunth (Polygonaceae), que é uma espécie que se distribui amplamente na bacia, porém não apresenta variação temporal na sua abundância e distribuição, *Spartina alterniflora* Loisel. (Poaceae) e *Crinum americanum* L. (Amaryllidaceae), duas espécies emergentes enraizadas que ocorrem nos rios do litoral do Estado de São Paulo durante o ano todo na região de baixo e médio estuário, em que há influência da salinidade. Também ocorrem duas espécies de macrófitas aquáticas submersas enraizadas, *Egeria densa* Planch. e *Cabomba furcata* Schultz. e Schultz (UMETSU *et al.*, 2018), presentes em águas doces da bacia, em especial nos rios Branco, rio Aguapeú, rio Preto e rio Mambu.

Apesar da intensa e antiga ocupação humana na Baixada Santista esta bacia hidrográfica é propícia para estudos ecológicos que envolvem a diversidade e distribuição de espécies de macrófitas aquáticas submersas devido a heterogeneidade natural do ambiente, com diferentes tipos de água, formações geológicas, relevo, tipos de vegetação terrestre, grandes áreas de conservação, etc. Devido à estas características, esta bacia tem sido objeto de estudos ecológicos há vários anos, com o monitoramento de variáveis abióticas da água dos rios e

desenvolvimento de vários projetos de pesquisa. Ao longo destes vários anos de estudos observamos uma variação espacial e temporal na ocorrência de *E. densa* e *C. furcata* em trechos de alguns rios desta bacia. Estas observações nos levaram a iniciar um estudo sistemático da distribuição destas duas espécies em um trecho do rio Branco para tentar esclarecer quais fatores estão levando a estes padrões de distribuição e em que condições estas duas espécies se desenvolvem melhor.

Dessa forma, este estudo buscou responder as seguintes questões: 1. Existe um padrão espacial ou sazonal na distribuição destas duas espécies em um trecho da bacia do rio Itanhaém? A pluviosidade é responsável por estes padrões? 2. A radiação luminosa tem influência no crescimento e desenvolvimento destas duas espécies?

Estruturamos esta dissertação em dois capítulos, redigidos em formato de artigo científico. No Capítulo 1 analisamos o padrão de ocorrência e distribuição em escalas espacial e temporal de *E. densa* e *C. furcata* em um trecho do rio Branco. Inicialmente monitoramos a ocorrência das espécies a intervalos anuais (verão) e posteriormente a intervalos trimestrais. Relacionamos a presença das espécies com a pluviosidade para avaliar o efeito desta sobre o padrão de ocorrência. O Capítulo 2 está relacionado a um experimento realizado em casa de vegetação para avaliar os efeitos de diferentes níveis de radiação luminosa no crescimento e acúmulo de biomassa de indivíduos de *E. densa* e *C. furcata*.

REFERÊNCIAS

- AFONSO, C. M. **A paisagem da Baixada Santista: urbanização, transformação e conservação**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, FAPESP, 2006.
- CAMARGO, A. F. M.; CANCIAN, L. F. Ecologia da bacia do rio Itanhaém: características limnológicas e uso do solo. In: MORAES, M. E. B. De; LORANDI, R. (Eds.). **Métodos e técnicas de pesquisa em bacias hidrográficas**. Ilhéus: Editus, 2016. p. 197–218.
- CAMARGO, A. F. M.; PEREIRA, L. A.; PEREIRA, A. de M. M. Ecologia da Bacia Hidrográfica do Rio Itanhaém. In: CAMARGO, A. F. M.; SCHIAVETTI, A. (Eds.). **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2002. p. 293.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativas da população residente no Brasil e para as unidades da federação com data de referência em 1o de julho de 2017**. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/18354-regioes-metropolitanas-aglomeracoes-urbanas-e-regioes-integradas-de-desenvolvimento.html?=&t=downloads>
- NUNES, L. S. C.; UMETSU, C. A.; RODRIGUES, M. E. F.; POTT, V. J.; CAMARGO, A. F. M. Inventory of aquatic macrophyte species in coastal rivers of the São Paulo state, Brazil. **Oecologia Australis**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, p. 829–845, 2019. 4.
- PEGAS, F. de V.; WEAVER, D.; CASTLEY, G. Domestic tourism and sustainability in an emerging economy: Brazil's littoral pleasure periphery. **Journal of Sustainable Tourism**, Clevedon, v. 23, n. 5, p. 748–769, 28 maio. 2015. 5. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09669582.2014.998677>. Acesso em: 13 dez. 2021.

UMETSU, C. A.; AGUIAR, F. C.; FERREIRA, M. T.; CANCIAN, L. F.; CAMARGO, A. F. M. Addressing bioassessment of tropical rivers using macrophytes: The case of Itanhaém Basin, São Paulo, Brazil. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 150, p. 53–63, 2018.

2 CAPÍTULO 1: OCORRÊNCIA DE DUAS ESPÉCIES DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS SUBMERSAS EM UM RIO TROPICAL: INFLUÊNCIA DA PLUVIOSIDADE NA VARIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL

Resumo: Para esclarecer os padrões de distribuição de macrófitas aquáticas em ambientes aquáticos temos que levar em consideração variáveis ambientais, como a pluviosidade. A distribuição e abundância de *Egeria densa* Planch. e *Cabomba furcata* Schult. & Schult. varia em curtos espaços de tempo (< 3 meses) em um trecho da bacia do rio Itanhaém. Para avaliar identificar padrões temporais e espaciais na distribuição destas espécies em um trecho de um rio desta bacia, coletamos dados sobre a porcentagem de ocorrência de bancos de ambas as espécies em um trecho do rio Branco, em um período de oito anos, e aplicamos um GLM (Modelo Linear Generalizado), considerando fatores espaciais, temporais/sazonais e de pluviosidade. Para ambas as espécies não houve relação entre a ocorrência e a pluviosidade e sazonalidade. Embora não tenhamos encontrado sazonalidade na ocorrência das espécies, as análises preliminares indicaram uma variação sazonal aleatória da distribuição de bancos. Especialmente *E. densa* e *C. furcata* apresentaram chance de ocorrência maior na porção superior do trecho analisado (2,5 vezes e 4,5 vezes maior, respectivamente). Concluímos que há uma diferença na ocorrência destas espécies espacialmente e temporalmente, apesar da aleatoriedade, possivelmente devido a distribuição não sazonal de outras variáveis como turbidez, temperatura da água e velocidade de corrente.

Palavras-chave: distribuição de espécies, *Egeria densa*, *Cabomba furcata*, GLM, bacia do rio Itanhaém.

2.1 Introdução

Dentre os fatores que influenciam na distribuição de espécies vegetais, os fatores climáticos são considerados uns dos mais importantes, pois há uma forte correlação entre a distribuição e crescimento de plantas e características como temperatura, precipitação e luminosidade (WOODWARD; WILLIAMS, 1987). Em ambientes aquáticos, estes fatores também são importantes mecanismos que definem a distribuição das plantas, já que podemos observar diferenças na composição de espécies da região litorânea para a região limnética em lagos, assim como em uma escala temporal (MURPHY *et al.*, 2019).

Esclarecer os padrões de distribuição, ocorrência e abundância de espécies de macrófitas aquáticas nestes ambientes é essencial, já que elas desempenham funções importantes na estrutura e manutenção dos ecossistemas aquáticos. Estes padrões são dependentes de fatores como luminosidade (BARKO; ADAMS; CLESCERI, 1986), temperatura da água (BARKO; SMART, 1981), nutrientes disponíveis (BINI *et al.*, 1999; BOEDELTEJE *et al.*, 2001), composição do substrato (SOSSEY-ALAOUI; ROSILLO, 2013), pluviosidade e velocidade da corrente da água (REA *et al.*, 1998), turbidez (KAUL; TRISTAL; HANDOO, 1978), nível da água (KÖRS *et al.*, 2012), herbivoria (NICHOLS; SHAW, 1982) e competição (CHAMBERS; PREPAS, 1990; KÖRS *et al.*, 2012).

Nas regiões temperadas as estações do ano são bem definidas, sendo assim espera-se maior sazonalidade nas variáveis climáticas e na distribuição e ocorrência de espécies de macrófitas aquáticas (MONY *et al.*, 2007). Os fatores que mais influenciam na distribuição de espécies nestes ambientes são a temperatura e o fotoperíodo. A ocorrência das espécies fica restrita aos períodos mais quentes, na primavera e verão, enquanto no inverno, devido as temperaturas mais frias e menor radiação luminosa, a produtividade e crescimento de macrófitas aquáticas diminui drasticamente, inclusive devido a formação de gelo na superfície de vários ambientes aquáticos (GACIA; BALLESTEROS, 1994).

Em regiões tropicais, a variação temporal na ocorrência de macrófitas aquáticas é regida principalmente pelo pulso de inundação (JUNK; PIEDADE, 1997). Os pulsos de inundação impulsionam a interação entre processos de sucessão de espécies de macrófitas com processos relacionados a estabilidade física dos habitats aquáticos como erosão, sedimentação, correntes aquáticas e ondas litorâneas e com os impactos antrópicos (PIEADDE *et al.*, 2020).

Na planície de inundação do Alto Rio Paraná, onde há uma sazonalidade no nível da água e na ocorrência de enchentes, Thomaz *et al.* (2009b) descreveram mudanças bruscas na riqueza e composição de espécies de macrófitas aquáticas em seis lagos marginais, porém não conseguiram relacionar esta variação com a sazonalidade das enchentes. Por outro lado, o aumento da transparência da água causado por barragens de reservatórios a montante influenciou na riqueza e na ocupação dos ambientes aquáticos por espécies de macrófitas submersas (MARTINS *et al.*, 2008; PADIAL; THOMAZ, 2008; THOMAZ *et al.*, 2009a).

Em rios costeiros observamos um gradiente espacial de variáveis limnológicas como salinidade, turbidez, temperatura e nível e velocidade da água, que é maior na foz dos estuários devido ao regime de marés. Estas características promovem uma distribuição longitudinal de espécies de macrófitas aquáticas, em que espécies mais tolerantes a salinidade e flutuações diárias do nível da água ocorrem na foz dos estuários, enquanto espécies adaptadas as águas doces ocorrem em áreas mais distantes da foz (NUNES *et al.*, 2019).

As macrófitas aquáticas submersas (livres e enraizadas) ocorrem, em planícies costeiras, principalmente em águas oligohalinas e doces, com maior penetração de radiação solar na coluna da água e, no caso de enraizadas, com maior quantidade de nutrientes disponíveis no sedimento (DAR; PANDIT; GANAI, 2014). Estas macrófitas aquáticas tem grande importância na manutenção da biodiversidade aquática, pois são usadas como refúgio por espécies de invertebrados aquáticos e peixes (THOMAZ; CUNHA, 2010). Também influenciam a turbidez e cor da água dos ecossistemas aquáticos através da decomposição (BLINDOW *et al.*, 1993).

A luminosidade é o fator mais importante no desenvolvimento, distribuição e metabolismo de carbono e nitrogênio de macrófitas submersas (ZHANG *et al.*, 2010).

Devido a estes fatores, a maioria das espécies ocorrem em ambientes mais rasos, com maior disponibilidade luminosa, porém podemos encontrar macrófitas submersas em locais mais profundos, com menor penetração de luz que para se adaptar à menor luminosidade disponível podem alocar mais biomassa nas folhas para aumentar o crescimento (FU et al., 2012) ou então desenvolver maior comprimento dos entrenós, maximizando assim a absorção de luz e de CO₂ na superfície da água (MABERLY; MADSEN, 2002), bem como alterações na composição dos pigmentos fotossintéticos (HUSSNER; MEYER; BUSCH, 2008).

A temperatura também é um fator muito importante para o desenvolvimento de espécies submersas. Juntamente com a luminosidade, afeta o crescimento, morfologia, fotossíntese e distribuição destas espécies (DAR; PANDIT; GANAI, 2014). O declínio da temperatura, por exemplo, pode causar uma redução nas populações de macrófitas submersas ao longo do tempo (BARKO; ADAMS; CLESCERI, 1986).

Egeria densa Planch. (Hydrocharitaceae) e *Cabomba furcata* Schult. & Schult. (Cabombaceae) são duas espécies de macrófitas submersas nativas da América do Sul, e são encontradas em abundância na bacia do rio Itanhaém (NUNES; CAMARGO, 2020). Ambas ocorrem o ano todo, tanto em rios de águas brancas como em rios de águas pretas, em locais de água doce desta bacia litorânea.

Ao longo de vários anos de estudos ecológicos e de um monitoramento de variáveis limnológicas abióticas que realizamos nesta bacia hidrográfica, observamos variações temporais e espaciais na ocorrência de *E. densa* e *C. furcata* em um trecho do rio Branco, um dos principais rios desta bacia, através de observações visuais. Para descrever os padrões e obter informações sobre as possíveis variáveis que influenciam a variação da ocorrência das duas espécies, iniciamos um monitoramento sistemático deste trecho do rio em 2012.

O objetivo deste trabalho é identificar a ocorrência de padrões temporais e espaciais de ocorrência de *E. densa* e *C. furcata* em um trecho do rio Branco, na bacia do rio Itanhaém. Nossa hipótese é que a variação da pluviosidade é responsável pela variação de ocorrência destas duas espécies.

2.2 Materiais e Métodos

2.2.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Itanhaém é a segunda maior do litoral paulista com aproximadamente 950 km² (23°50' – 24°15' S / 46°35' – 47°5' W) (NUNES; CAMARGO, 2020) e vem sendo estudada, especialmente quanto a aspectos ecológicos há vários anos por pesquisadores da Universidade Estadual Paulista. Esta bacia possui uma complexa rede de rios e riachos, gradativamente mais preservados à medida que se avança para suas cabeceiras, em direção ao Parque Estadual da Serra do Mar.

O relevo da bacia do rio Itanhaém é dividido em três partes, sendo eles a região de planalto, possuindo desde regiões planas até vales de riachos com altas declividades, entre 680 m e 1020 m de altitude, em seguida a região de escarpa, com declividades de até 90°, e a região de planície costeira, com baixas altitudes, de até 100 m, baixa declividade e ocupando a maior área da bacia (Figura 1) (CAMARGO; CANCIAN, 2016).

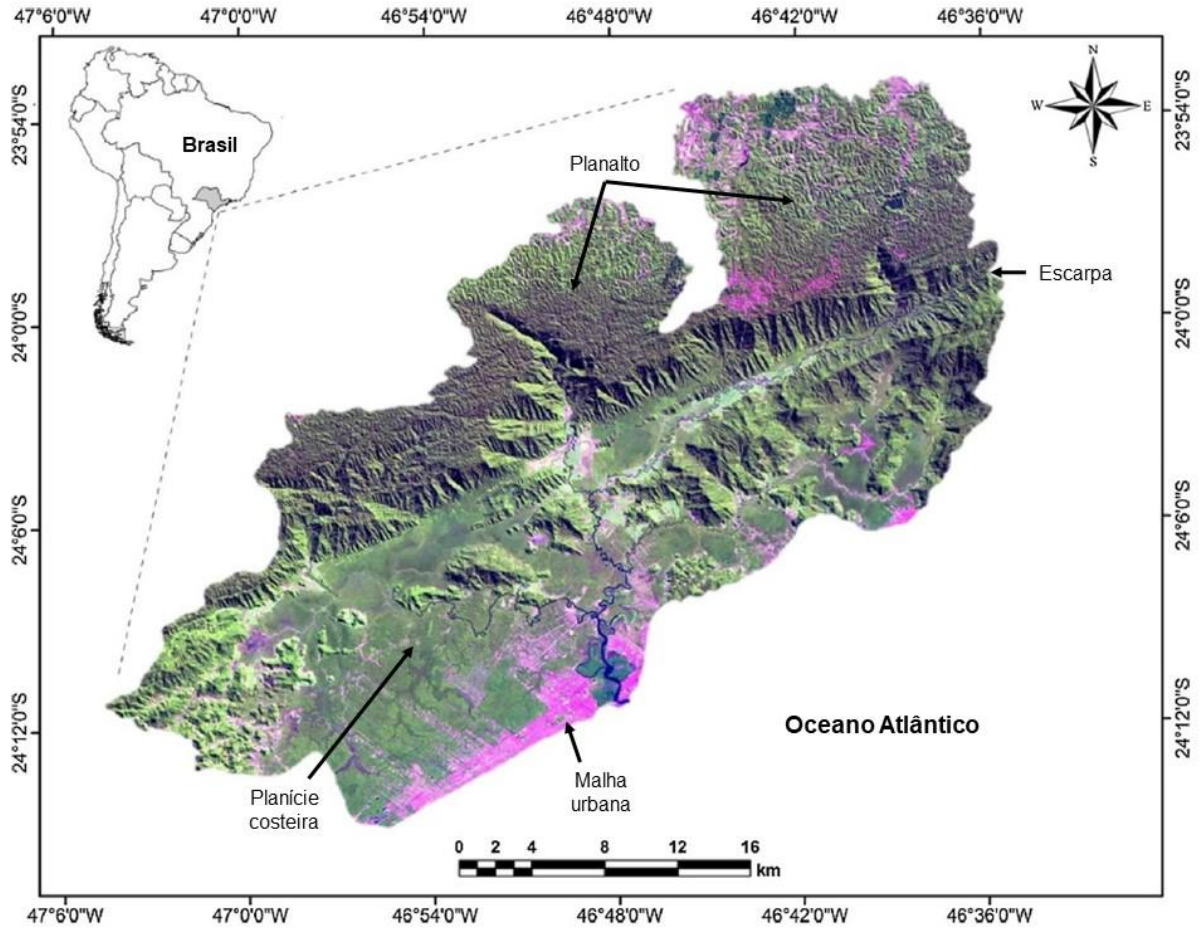
Dentre os diversos usos e ocupação do solo na bacia, cerca de 40% da área da bacia é coberta pelo Parque Estadual da Serra do Mar (uma unidade de conservação), grandes plantações de banana e pequenas áreas de agricultura de subsistência na

região da planície costeira, enquanto as áreas urbanas se concentram na porção inferior da planície, próximas a foz do rio Itanhém (CAMARGO; CANCIAN, 2016).

Devido aos diversos tipos de vegetação terrestre e de características geológicas, há na bacia rios com diferentes tipos de água (águas pretas, brancas, claras e salobras) com diferentes características físicas e químicas, que permitem a presença de macrófitas aquáticas na porção da planície costeira, em que a velocidade da corrente é baixa e os rios são mais rasos, largos e meândricos (CAMARGO *et al.*, 1997; CAMARGO; CANCIAN, 2016).

O clima na região possui pequena variação sazonal e as estações do ano não são bem definidas. A precipitação pluviométrica é maior nos meses de verão, mas as chuvas também ocorrem no inverno, com média anual variando entre 1500mm e 2600mm e temperatura média de 24°C. As médias mensais de precipitação e temperatura estão apresentadas na Tabela 1. O clima é classificado como tropical chuvoso, sem estação seca e com verões quentes, (Af pelo sistema de Köppen-Geiger).

Figura 1. Bacia hidrográfica do rio Itanhaém, destacando as diferentes feições que a compõem e alguns dos principais usos e ocupação do solo.



Fonte: adaptado de Umetsu *et al.* (2018).

Tabela 1. Valores de precipitação média e temperatura média na bacia hidrográfica do Rio Itanhaém. Os valores de precipitação são baseados na série histórica de 83 anos, e os valores de temperatura são médias estimadas através de equações.

Mês	Precipitação média (mm)	Temperatura média (°C)
Janeiro	322,46	27,9
Fevereiro	304,60	28,2
Março	311,78	27,5
Abril	215,21	24,8
Maio	160,26	22,2
Junho	121,65	20,7
Julho	129,89	20,5
Agosto	112,76	22,2
Setembro	174,41	23,3
Outubro	216,56	24,7
Novembro	208,22	26,0
Dezembro	264,25	27,0
Total	2541,91	-
Média	211,83	24,6

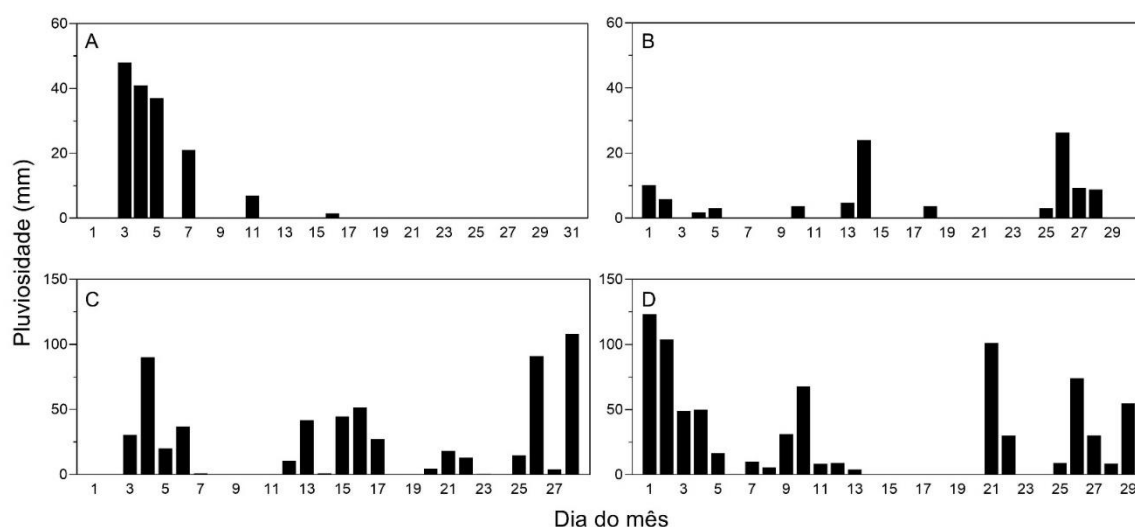
Fonte: Banco de Dados Climáticos do Brasil: Município de Itanhaém (SP), 2021; Banco de Dados Hidrológicos, 2020.

Embora a pluviosidade média tenha um padrão sazonal com maior pluviosidade no verão do que no inverno a distribuição de chuvas na região tem uma distribuição com efeito temporal de caráter imprevisível. Observa-se grandes diferenças na pluviosidade acumulada anual, por exemplo, o acumulado anual em 2007 foi de 1582,9 mm e em 2019 de 3329,2 mm. A diferença de pluviosidade entre meses de anos diferentes também é muito grande, por exemplo, em novembro de 2016 o acumulado foi de 7,5 mm e em novembro de 2004 de 595,6 mm.

A distribuição de chuvas em períodos curtos de tempo é bastante variável e tanto no verão como no inverno observa-se uma sequência de muitos dias chuvosos

seguidos de dias sem chuvas. Por exemplo, entre os dias 3 e 7 de agosto de 2010, ocorreram chuvas constantes entre 20 e 50 mm diários, e logo em seguida, entre os dias 8 e 31, observamos chuvas em apenas dois dias (8,5 mm acumulados) (Figura 2A). Em fevereiro de 2012 (Figura 2B), o volume de chuva acumulada foi de 76,3 mm, e a chuva se restringiu aos períodos entre os dias 13 e 14 (28,8 mm acumulados) e 25 a 28 (47,5 mm acumulados). Nos meses de fevereiro de 2019 e de 2020 (Figura 2C e 2D, respectivamente) os acumulados mensais foram elevados, mas também com dias chuvosos intercalados com dias sem chuvas.

Figura 2. Pluviosidade nos meses de (A) agosto de 2010, (B) fevereiro de 2012, (C) fevereiro de 2019 e (D) fevereiro de 2020. Dados coletados no banco de dados hidrológicos do DAEE, estação pluviométrica FE-002 – Mongaguá/SP (altitude 20,0 m; Lat 24° 05' 00" e Lon 46° 37' 00").



O rio Branco é o de maior extensão da bacia, possui suas nascentes no planalto da Serra do Mar e percorre a planície costeira por 53,2 km. Na planície possui águas brancas devido à maior carga de sedimentos. Observando as características limnológicas apresentadas na tabela 2, notamos que a turbidez é um dos parâmetros que sofre maior variação sazonal, possivelmente devido às chuvas intensas e esporádicas que ocorreram antes da amostragem. Mesmo durante o inverno, um período relativamente menos chuvoso, registramos valores altos de turbidez, apesar

de outras variáveis como pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido não apresentarem padrão sazonal. Possui valores médios de pH ligeiramente ácidos, com saturação de O₂ em torno de 71,8% e concentrações médias de nitrogênio total de 0,13 mg.l⁻¹ e de fósforo total de 22,8 µg.l⁻¹ (CAMARGO; CANCIAN, 2016). Ao juntar-se com o rio Preto na porção inferior da planície costeira forma o rio Itanhaém. O rio Branco possui águas doces em toda a sua extensão, mas sofre influência das marés na variação do nível de água e velocidade de corrente.

Tabela 2. Variáveis limnológicas amostradas em dois pontos de um trecho do rio Branco, na bacia do rio Itanhaém, em um período de cinco anos. O ponto 1 está localizado na porção média do trecho final do rio Branco, em um local de baía. O ponto 2 está localizado mais a montante, pouco antes da foz do rio Mambu, um tributário do rio Branco.

Estação/Ano	pH	Condutividade elétrica (mS.cm ⁻¹)	Turbidez (NTU)	O ₂ dissolvido (mg.l ⁻¹)	Temperatura (água) (°C)	Coefficiente de atenuação de luz (k)	Alcalinidade (meq.L ⁻¹)	N _{total} (mg.L ⁻¹)	N-NH ₃ (µg.L ⁻¹)	NO ₂ (µg.L ⁻¹)	NO ₃ (µg.L ⁻¹)	P _{total} (µg.L ⁻¹)	PO ₄ (µg.L ⁻¹)	P _{dissolvido} (µg.L ⁻¹)
Ponto 1 (24°7'25.07"S, 46°47'37.24"O)														
Verão 2007	6.59	0.438	4.0	6.573	27.67	2.14	0.23	0.327	16.48	6.02	34.35	43.00	7.92	26.17
Inverno 2007	5.89	0.042	14.3	6.700	15.00	2.30	0.10	0.145	5.00	5.76	35.74	21.66	5.71	12.00
Verão 2008	6.03	0.050	6.0	5.786	26.60	2.38	0.17	0.154	5.00	5.00	101.37	25.12	7.55	11.95
Inverno 2008	5.96	0.059	8.7	6.297	20.40	3.06	0.10	0.112	53.79	5.00	144.80	28.12	11.14	19.08
Verão 2009	5.90	0.027	6.3	6.452	26.20	-	0.14	0.126	5.00	5.00	56.37	186.20	11.39	3.69
Inverno 2009	6.00	0.022	26.3	9.000	17.80	1.81	0.06	0.149	5.00	5.00	55.31	19.60	3.00	10.00
Verão 2010	5.40	0.023	8.0	3.667	27.60	-	0.05	-	-	-	-	-	-	-
Inverno 2010	6.21	0.025	23.0	7.900	19.47	1.21	0.08	0.149	5.00	5.00	30.52	10.58	3.00	3.00
Verão 2011	5.25	0.021	91.0	5.867	24.17	4.51	0.13	0.215	13.84	5.00	326.60	16.72	4.14	10.59
Inverno 2011	5.50	0.057	0.0	9.500	16.80	1.78	0.10	0.159	5.93	5.48	246.12	40.49	7.35	18.48
Ponto 2 (24° 5'7.86"S, 46°48'32.68"O)														
Verão 2007	6.57	1.730	5.0	6.179	27.70	1.69	0.34							
Inverno 2007	6.33	0.227	26.0	7.016	15.10	2.96	0.12	0.112	5.00	5.17	30.68	23.39	3.90	7.37
Verão 2008	6.85	0.893	5.3	7.083	26.13	1.53	0.18	0.210	5.00	5.00	44.77	28.33	4.56	12.16
Inverno 2008	6.16	0.140	15.3	5.995	20.20	3.63	0.11	0.145	5.04	5.14	66.06	31.51	9.80	22.76
Verão 2009	5.81	0.032	7.7	4.435	26.63	-	0.13	0.126	5.00	5.00	82.81	24.20	5.07	14.57
Inverno 2009	6.16	0.030	24.0	7.767	17.90	3.05	0.07	0.359	5.00	5.00	46.22	29.63	4.04	15.56
Verão 2010	5.91	0.020	72.3	6.300	25.87	-	0.05	-	-	-	-	-	-	-
Inverno 2010	6.30	0.023	7.7	8.500	18.83	2.04	0.09	0.126	5.00	5.00	56.31	19.08	5.36	8.90
Verão 2011	5.09	0.021	84.0	6.467	24.30	4.34	0.14	0.070	5.00	5.00	275.67	20.30	4.39	13.79
Inverno 2011	5.77	0.031	4.7	8.933	17.70	1.43	0.12	0.135	5.15	5.05	322.02	31.49	7.29	19.92

2.2.2 Porcentagem de ocorrência das espécies e pluviosidade

O trecho escolhido para amostragem pode ser observado na figura 3. Este trecho médio do rio Branco é caracterizado pela presença histórica de bancos de *E. densa* e *C. furcata* devido à ausência de salinidade, águas mais rasas e menor velocidade de corrente (CAMARGO; PEREIRA; PEREIRA, 2002). Na porção superior, ele recebe as águas claras do rio Mambu, o que pode reduzir a turbidez das águas barrentas do rio Branco, tornando o ambiente mais propício para o crescimento de espécies submersas. Pouco após a metade deste trecho, recebe as águas do rio Aguapeú em sua margem esquerda, um rio de águas pretas, com muitos bancos de *E. densa* e *C. furcata*, que podem servir de bancos de propágulos para o trecho após a foz do Aguapeú.

As épocas de coleta podem ser encontradas na tabela 3. Realizamos as amostragens dos bancos de *E. densa* e *C. furcata* inicialmente com um maior espaçamento de tempo. Verificamos que, no período de três anos, houve uma variação intensa na ocorrência dos bancos destas duas espécies, justificando então o período entre coletas para três meses, a partir de março/2017, totalizando 17 amostragens. Escolhemos estes meses para contemplar todas as quatro estações do ano (verão: fevereiro e março; outono: maio; inverno: agosto; e primavera: novembro) (Tabela 3).

Figura 3. Trecho amostrado, em azul, no rio Branco, bacia hidrográfica do Rio Itanhaém, sudeste do Estado de São Paulo. Destacamos o ponto dividindo os subtrecho superior e inferior.

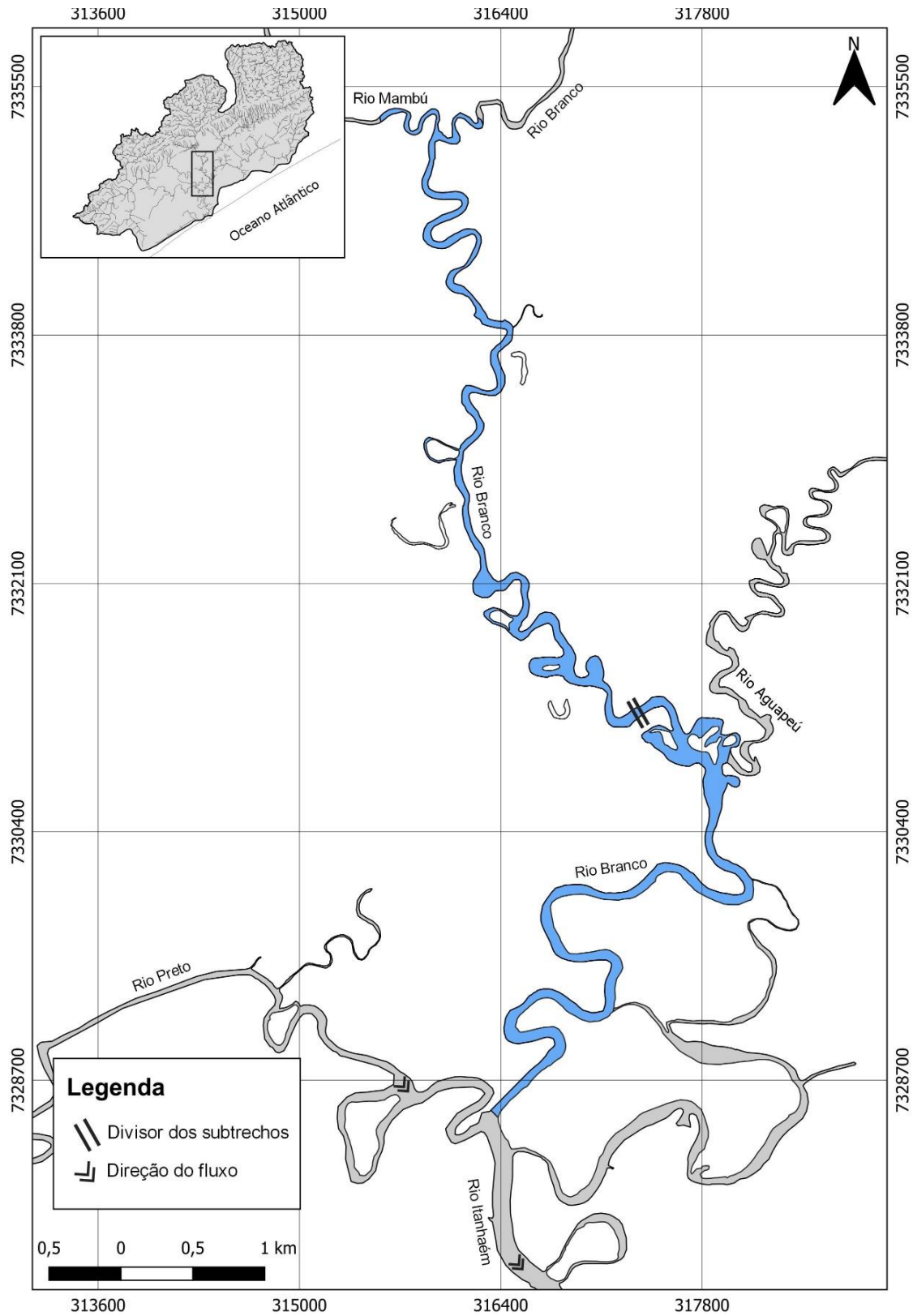


Tabela 3. Meses em que foram amostrados os bancos de *E. densa* e *C. furcata* no trecho do rio Branco, na bacia do rio Itanhaém.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
	Verão			Outono			Inverno			Primavera		
2012		•										
2014		•										
2016			•								•	
2017			•		•			•			•	
2018			•		•			•			•	
2019			•		•			•			•	
2020			•									

Para registrar a presença de bancos de *E. densa* e *C. furcata* percorremos as duas margens do trecho escolhido do rio Branco utilizando um barco de alumínio equipado com motor de popa, em velocidade reduzida e durante a maré baixa para melhor visualização das macrófitas a olho nu, pois assim o dossel dos bancos de *E. densa* e *C. furcata* ficam visíveis na superfície da água. Em coletas onde a visibilidade estava prejudicada devido ao maior nível da água em períodos mais chuvosos, arrastamos um gancho de metal preso a uma corda pela margem do rio para determinar a presença das espécies. Consideramos como bancos de macrófitas submersas quaisquer agrupamentos pequenos de indivíduos da mesma espécie, até 20 m de largura, margeando a região litorânea e seguindo o gradiente longitudinal dos rios (NUNES; CAMARGO, 2020). Durante a maré baixa estes bancos ficam expostos parcialmente ou totalmente (NUNES; SAITO; CAMARGO, 2021). Em cada coleta marcamos os pontos onde haviam bancos de macrófitas utilizando um GPS Garmin® II Plus e, nas coletas subsequentes, utilizamos estes registros como referência.

As porcentagens de ocorrência total de cada espécie foram calculadas utilizando a equação 1:

$$\text{Equação 1: } O_T = N_a \times 100 / N_T$$

Em que: O_T = porcentagem de ocorrência total da espécie “a”; N_a = número de bancos da espécie “a” em todo o trecho; N_T = número de bancos de ambas as espécies em todo trecho.

Os dados de pluviosidade foram obtidos no Banco de Dados Hidrológicos do DAEE (DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA, 2020). Utilizamos os valores acumulados de chuva de 05, 10, 15, 20, 25 e 30 dias anteriores as amostragens das macrófitas, a fim de relacionar com a porcentagem de ocorrência de espécies nos subtrechos e nas diferentes épocas do ano.

Com o objetivo de identificarmos diferenças entre a ocorrência de *E. densa* e *C. furcata* dentro do próprio trecho do rio Branco analisado anteriormente, dividimos o rio em subtrecho inferior e subtrecho superior, considerando a metade do trecho como ponto divisor (Figura 3). Pouco abaixo do ponto divisor desagua o rio Aguapeú, que possui bancos de ambas as espécies de macrófitas, o que pode fazer com que propágulos sejam dispersos no rio Branco por suas águas. Além disso, possui características limnológicas levemente diferentes por atravessar apenas o trecho de planície da bacia, sofrendo influência de outro tipo de substrato geológico e ter maior carga de substâncias húmicas, o que lhe confere águas de coloração negra (CAMARGO; CANCIAN, 2016). Estas características podem alterar os padrões de distribuição das macrófitas a jusante de sua foz.

Para calcularmos a porcentagem de ocorrência de *E. densa* e *C. furcata* nos dois subtrechos e nas quatro estações do ano, utilizamos equação 2:

$$\text{Equação 2: } O_{\text{SUB.EST}} = N_a \times 100 / N_T$$

Em que: $O_{\text{SUB.EST}}$ = porcentagem de ocorrência da espécie “a” no subtrecho “x” na estação do ano “y”; N_a = número de bancos da espécie “a” no subtrecho “x” na estação do ano “y”; N_T = número de bancos de ambas as espécies em todo trecho.

2.2.3 Avaliação da variação temporal e espacial das espécies *E. densa* e *C. furcata*

Para determinar quais as variáveis que mais explicam a ocorrência de ambas espécies de macrófitas aquáticas utilizamos Modelos Lineares Generalizados (GLM) assumindo uma distribuição quasibinomial, e aplicamos uma ANOVA fatorial para verificar se as variáveis são significativas. As variáveis independentes selecionadas foram subtrecho, estação do ano (considerando também que pode haver padrões sazonais de distribuição entre estações – verão, outono, inverno e primavera) e pluviosidade acumulada, e a variável dependente sendo a ocorrências das espécies. Estas análises, assim como a elaboração dos gráficos, foram realizadas utilizando o *software* R 4.0.4 (R CORE TEAM, 2021).

2.3 Resultados

2.3.1 Porcentagem de ocorrência das espécies

Os resultados mostraram que a porcentagem de ocorrência das duas espécies apresenta grande variação temporal (Figura 4 e Tabela 4). Nos verões de 2012 e 2014 a porcentagem de ocorrência de *E. densa* foi superior a 50%, mas no verão de 2016 *C. furcata* teve ocorrência superior a 80%. Entre a primavera de 2016 e o outono de 2018 *C. furcata* sempre teve ocorrência superior a 50%, no entanto a partir do inverno de 2018 *E. densa* passou a predominar com mais de 50% de porcentagem de ocorrência. No outono de 2019 as duas espécies não ocorreram no trecho, mas do inverno deste ano até o verão de 2020 *C. furcata* teve ocorrência superior a 50%.

Figura 4. Porcentagem de ocorrência de *E. densa* (linha verde) e *C. furcata* (linha vermelha) entre a primavera de 2016 (novembro/2016) e o verão de 2020 (março/2020) e pluviosidade acumulada dos 30 dias anteriores a amostragem dos bancos de macrófitas

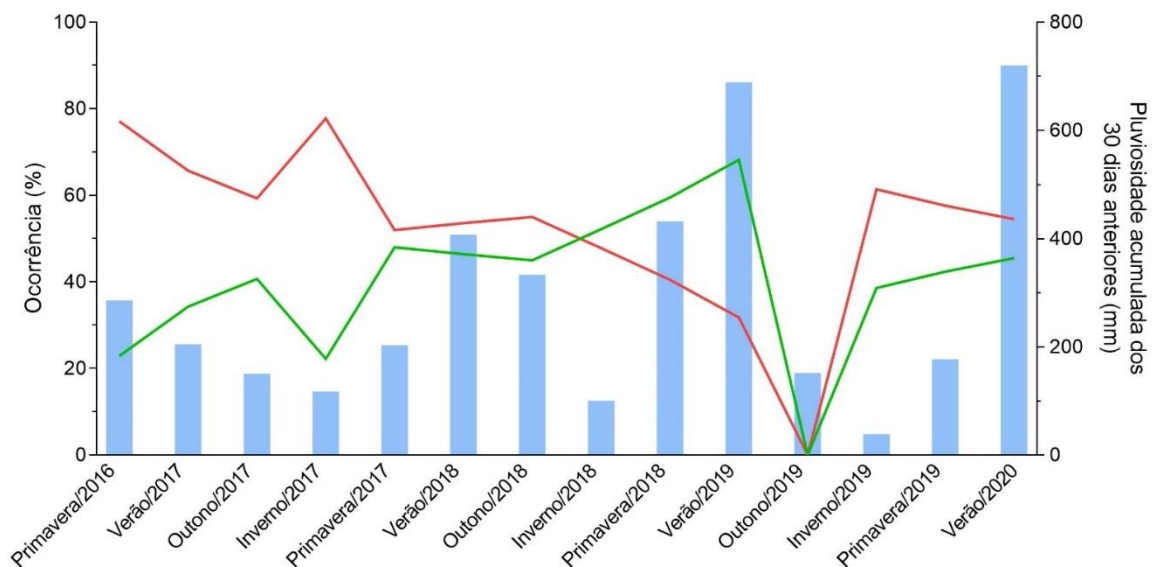


Tabela 4. Porcentagem de ocorrência das duas espécies de macrófitas aquáticas nas diferentes coletas, entre os anos de 2012 e 2020.

Ano	Estação do ano	Mês	Ocorrência (%)	
			<i>E. densa</i>	<i>C. furcata</i>
2012	Verão	Fevereiro	57,50	42,50
2014	Verão	Fevereiro	61,54	38,46
2016	Verão	Março	15,79	84,21
	Primavera	Novembro	22,90	77,10
2017	Verão	Março	34,30	65,70
	Outono	Maio	40,70	59,30
	Inverno	Agosto	22,20	77,80
	Primavera	Novembro	48,00	52,00
2018	Verão	Março	46,40	53,60
	Outono	Maio	45,00	55,00
	Inverno	Agosto	52,20	47,80
	Primavera	Novembro	59,50	40,50
2019	Verão	Março	68,20	31,80
	Outono	Maio	0,00	0,00
	Inverno	Agosto	38,60	61,40
	Primavera	Novembro	42,40	57,60
2020	Verão	Março	45,50	54,50

Os resultados também mostraram uma maior amplitude de porcentagem de ocorrência de bancos de *C. furcata* em relação à de *E. densa*, considerando todas as coletas realizadas neste trecho do Rio Branco (Figuras 5 e 6).

Figura 5. Exemplos da distribuição dos bancos de *E. densa* e *C. furcata* no trecho amostrado do rio Branco em três coletas: (A) março de 2016; (B) agosto de 2018; e (C) novembro de 2018.

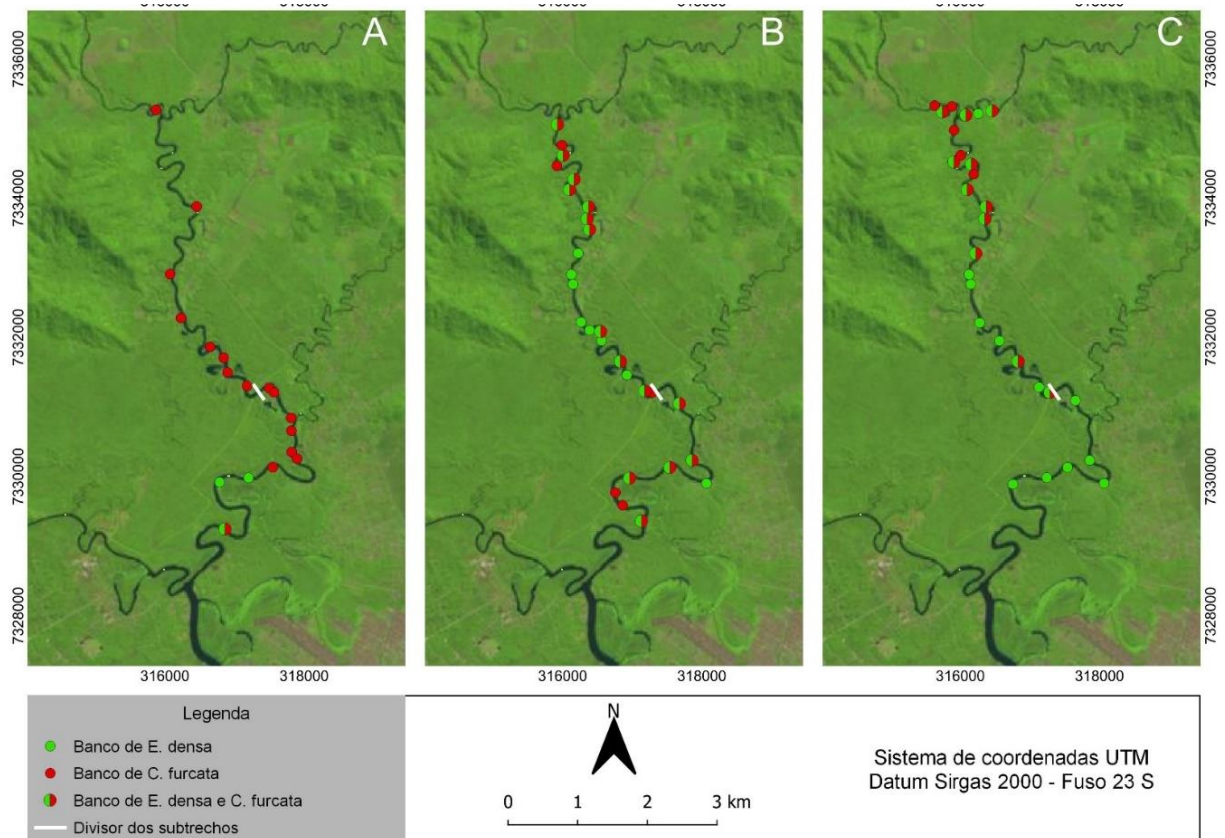
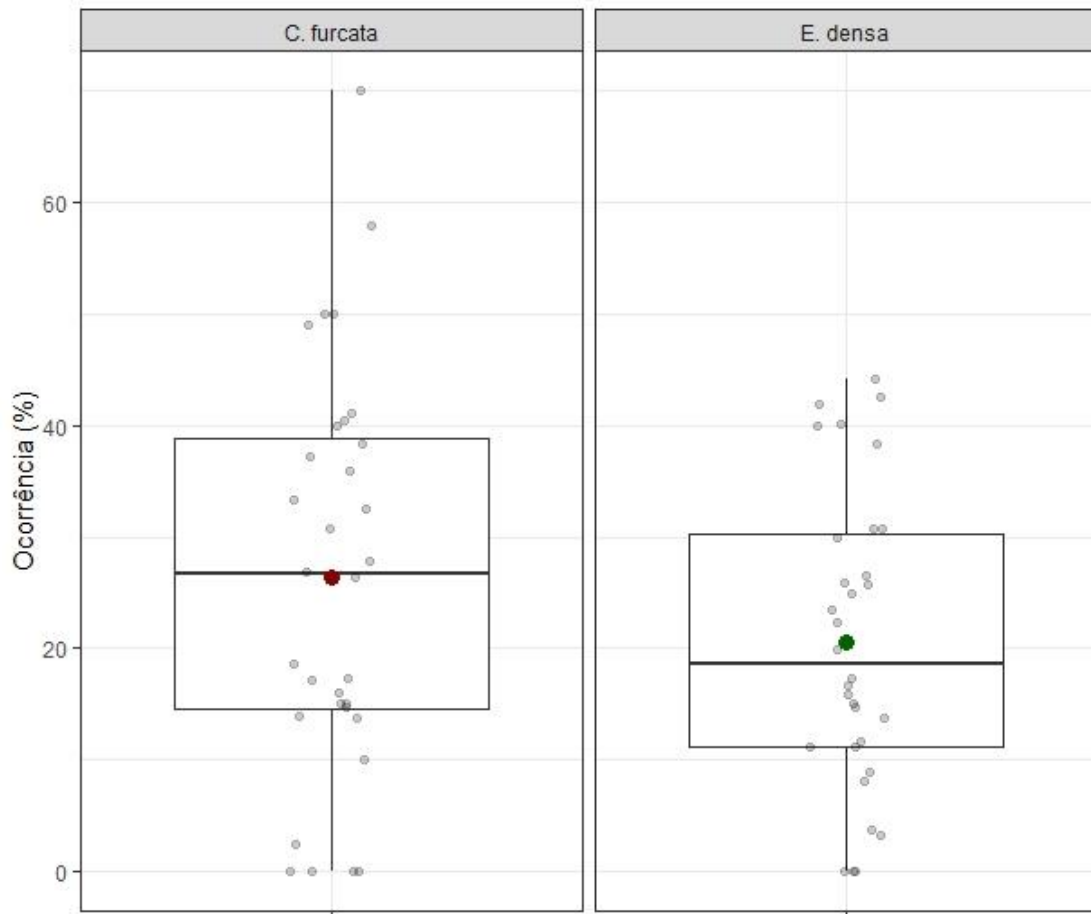
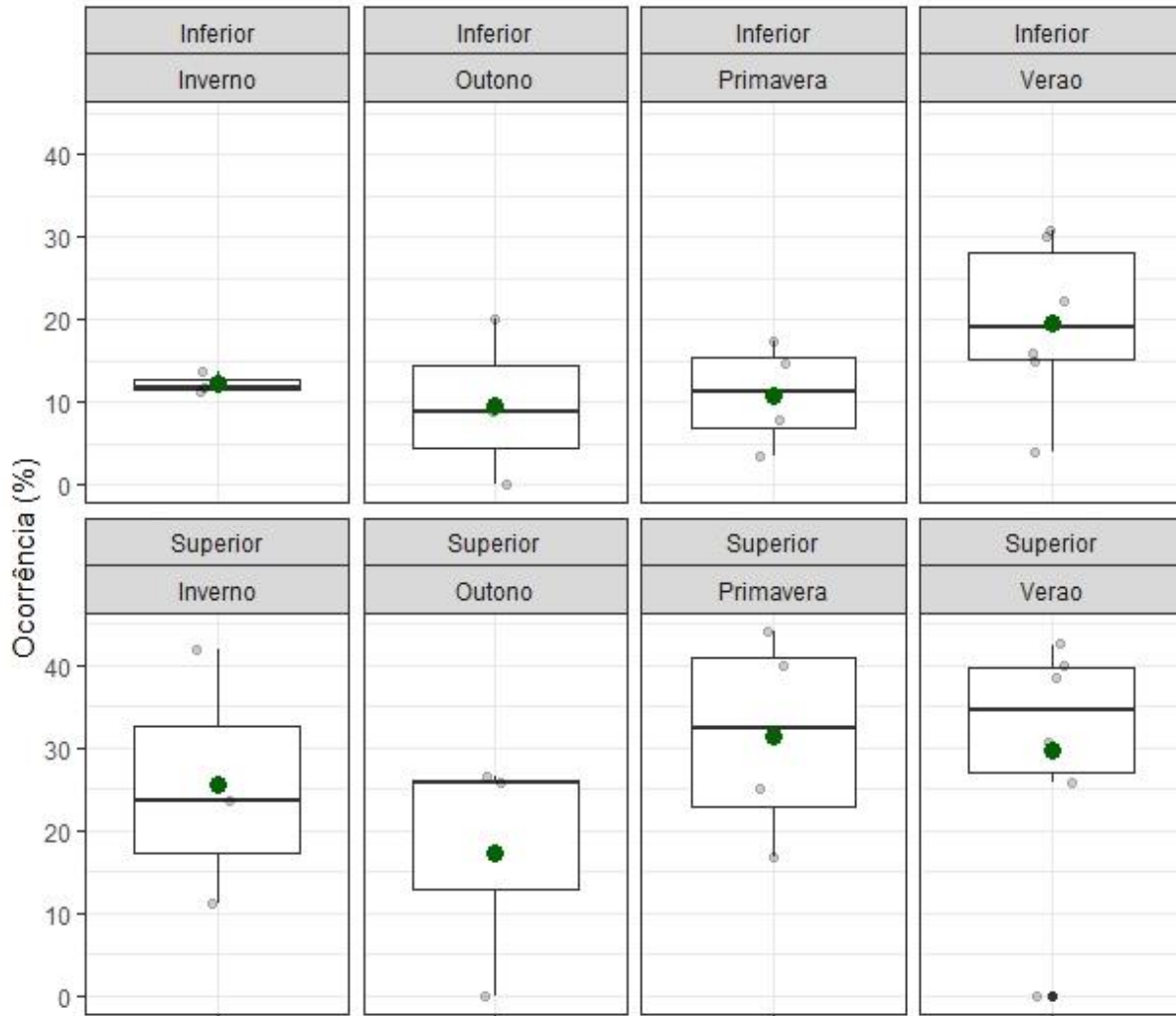


Figura 6. Porcentagem de ocorrência de bancos de *E. densa* e *C. furcata* em todo o trecho amostrado do rio Branco entre os anos de 2012 e 2019.



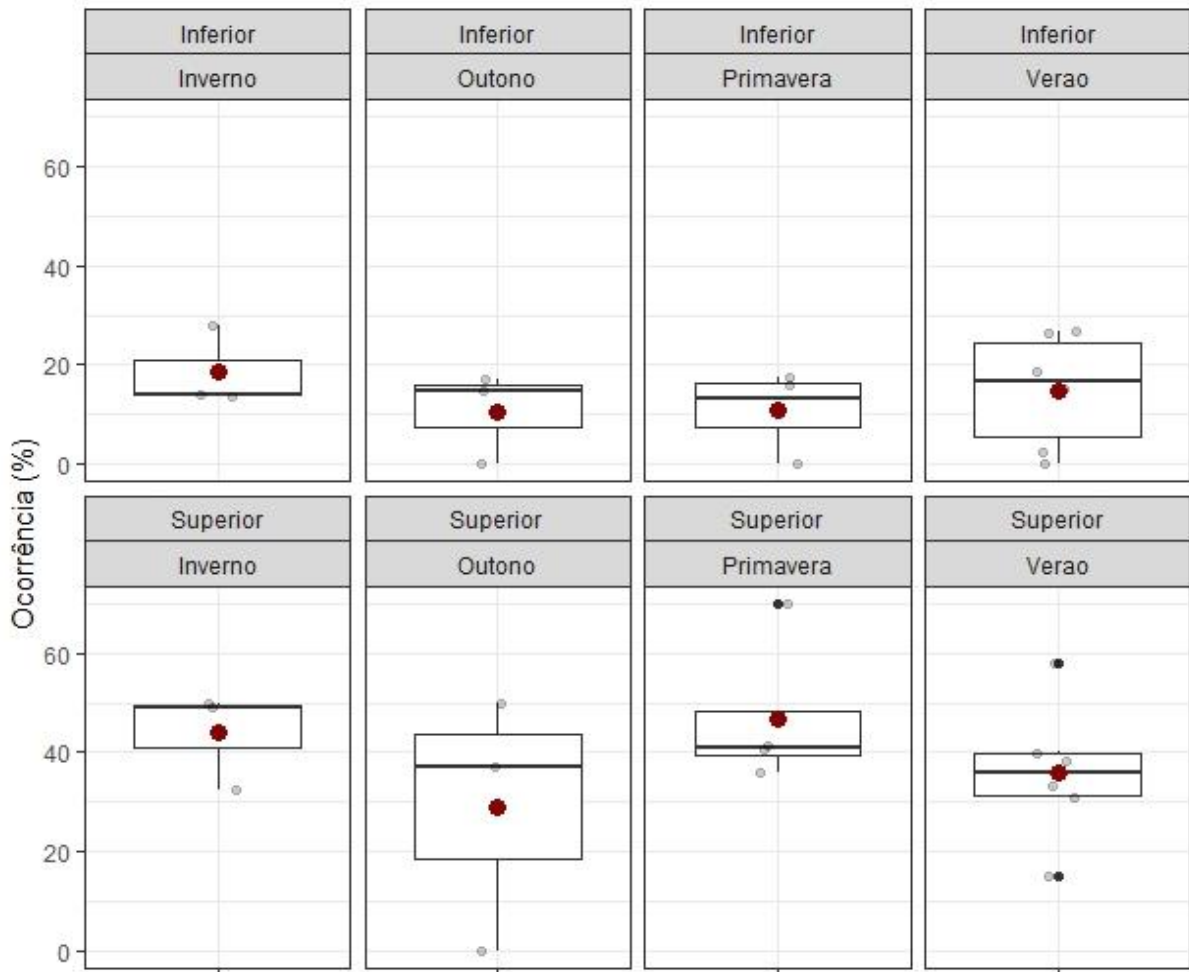
Os resultados obtidos mostram uma tendência de variação sazonal na ocorrência de *E. densa* no subtrecho superior, quando encontramos maior ocorrência de bancos desta espécie neste subtrecho no verão e menor ocorrência no outono (Figura 7). No entanto, não encontramos variação sazonal no subtrecho inferior. Considerando as diferenças entre os subtrechos, notamos que há maior porcentagem de ocorrência de *E. densa* no subtrecho superior do que no inferior durante o verão e primavera, ou seja, nos períodos mais quentes e chuvosos. Já no inverno e outono não encontramos esta diferença (Figura 7).

Figura 7. Porcentagem de ocorrência de *E. densa* nos dois subtrechos (superior e inferior), nas quatro estações (inverno, outono, primavera e verão).



Para *C. furcata*, não encontramos nenhum padrão de variação temporal na ocorrência dos bancos, tanto no subtrecho inferior como superior (Figura 8). Porém, há uma possível diferença na ocorrência de bancos entre os subtrechos, quando comparados os valores de ocorrência no inverno, primavera e verão, onde encontramos mais bancos de *C. furcata* no subtrecho superior. Apenas no outono não notamos esta possível diferença de ocorrência.

Figura 8. Porcentagem de ocorrência de *C. furcata* nos dois subtrechos (superior e inferior) e nas quatro estações (inverno, outono, primavera e verão).



2.3.2 Avaliação da variação temporal e espacial das espécies *E. densa* e *C. furcata*

Embora a análise visual dos *boxplots* indicasse uma possível variação sazonal na porcentagem de ocorrência de *E. densa* no subtrecho superior, ao modelarmos os dados de ocorrência de *E. densa*, não houve correlação significativa entre a ocorrência desta espécie e as estações do ano, assim como com as diferentes pluviosidades (Tabela 5 e Figura 9). Por este motivo, estas variáveis foram retiradas do modelo. Porém, encontramos correlação significativa com a variável subtrecho.

Tabela 5. Resultados da ANOVA fatorial para a porcentagem de ocorrência de *E. densa*. Os valores significativos estão destacados com um * ($p < 0,05$).

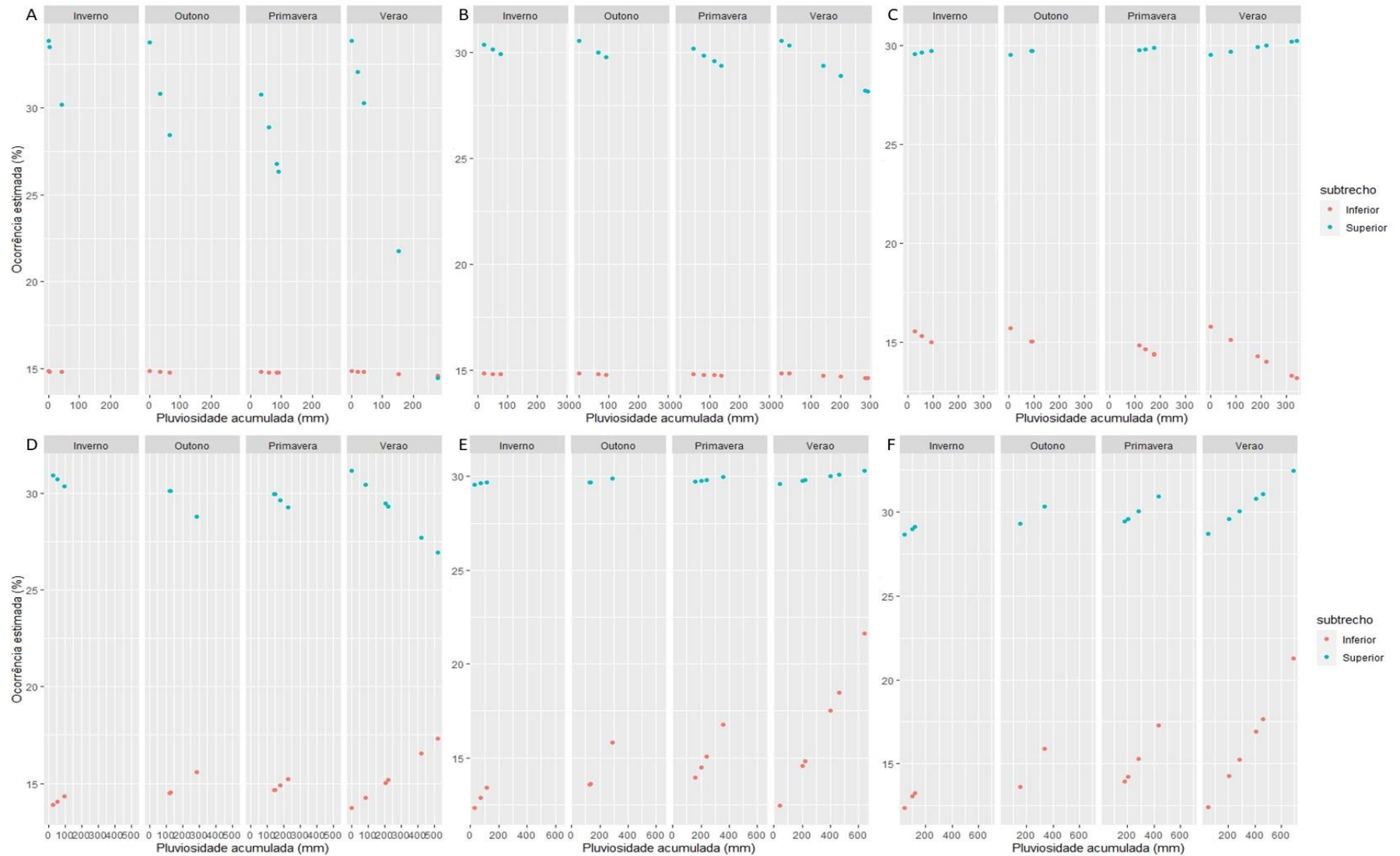
Variável	F	P
Estações do ano	1,4933	0,24162
Subtrechos	19,3826	0,00019*
Pluviosidade	0,0708	0,79249

De acordo com os resultados da GLM, a chance de ocorrência de *E. densa* no subtrecho superior deste trecho do rio Branco é aproximadamente 2,5 vezes maior que em relação ao subtrecho inferior (Tabela 6), tendo uma ocorrência estimada de 15% no subtrecho inferior e 30% no superior.

Tabela 6. Resultados da GLM entre a ocorrência de *E. densa* nos subtrechos inferior e superior do trecho do rio Branco.

Variável	Estimativa	Erro padrão	t	P
Intercept	-1,7510	0,1675	-10,454	<0,0001*
Subtrecho superior	0,8938	0,2120	4,215	0,000235*
Interpretação	2,444401			

Figura 9. Relação entre a porcentagem de ocorrência estimada de *E. densa* com a pluviosidade acumulada de (A) 05 dias anteriores a coleta, (B) 10 dias anteriores, (C) 15 dias, (D) 20 dias, (E) 25 dias e (F) 30 dias, em todas as quatro estações amostradas, nos subtrechos superior e inferior.



Assim como para *E. densa*, não observamos correlação significativa entre a ocorrência de *C. furcata* e as estações do ano e a pluviosidade (Tabela 7 e Figura 10), sendo assim retiramos estas duas variáveis do modelo. Também encontramos correlação significativa da variável subtrecho na ocorrência de *C. furcata*.

Tabela 7. Resultado da ANOVA fatorial para a porcentagem de ocorrência de *C. furcata*. Os valores significativos estão destacados com um * ($p < 0,05$).

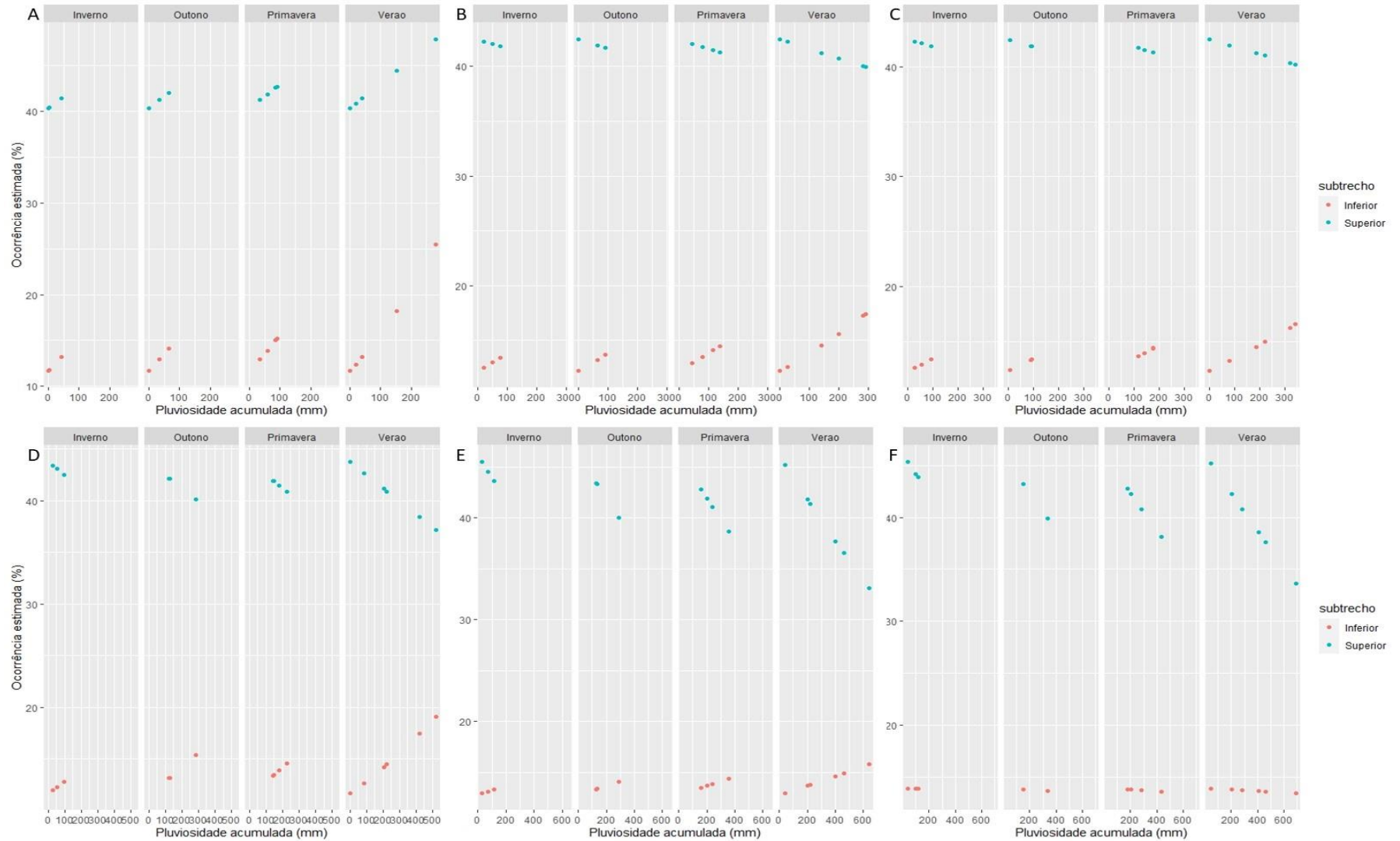
Variável	F	P
Estações do ano	1,1594	0,3457
Subtrechos	51,4383	<0,0001*
Pluviosidade	0,0652	0,8006

Em relação a ocorrência de bancos de *C. furcata*, há uma chance aproximada 4,5 vezes maior de bancos desta espécie ocorrerem no subtrecho superior do que no subtrecho inferior (Tabela 8), tendo uma ocorrência estimada de 15% no subtrecho inferior e 43% no superior.

Tabela 8. Resultado da GLM entre a ocorrência de *C. furcata* nos subtrechos inferior e superior do trecho do rio Branco.

Variável	Estimativa	Erro padrão	t	P
Intercept	-1,8362	0,1768	-10,383	<0,0001*
Subtrecho superior	1,4997	0,2157	6,952	-0,0001*
Interpretação	4,480345			

Figura 10. Relação entre a porcentagem de ocorrência estimada de *C. furcata* com a pluviosidade acumulada de (A) 05 dias anteriores a coleta, (B) 10 dias anteriores, (C) 15 dias, (D) 20 dias, (E) 25 dias e (F) 30 dias, em todas as quatro estações amostradas, nos subtrechos superior e inferior.



2.4 Discussão

Os nossos resultados não corroboraram a nossa hipótese de que a pluviosidade teria influência na ocorrência dos bancos de *E. densa* e *C. furcata* no trecho do rio Branco selecionado. Inicialmente supomos que haveria uma variação sazonal da ocorrência das duas espécies devido à variação sazonal de pluviosidade e temperatura, mesmo estas sendo moderadas. Casartelli e Ferragut (2015) evidenciaram uma variação sazonal da cobertura vegetal de *Nymphaea* spp, também em região tropical, com menores valores no inverno. O estudo de Bottino, Calijuri e Murphy (2013) que analisou a variação espacial e temporal de seis espécies de macrófitas aquáticas em um reservatório localizado em região tropical, também demonstrou uma forte variação sazonal de biomassa das espécies.

Nas primeiras avaliações (verão 2012 e verão 2014) observamos maior porcentagem de ocorrência de *E. densa* e, em uma primeira avaliação (*boxplots*), usando todos os resultados obtidos, observamos um padrão sazonal da ocorrência de *E. densa* quando avaliamos individualmente cada um dos subtrechos. No entanto, para *C. furcata* isto não ocorreu e, além disso, no verão de 2016 *C. furcata* teve porcentagem muito maior do que *E. densa*. Os resultados obtidos a intervalos de três meses mostraram a ausência de variação sazonal e nenhum padrão de variação nas diferentes estações do ano. Como a pluviosidade da região se caracteriza por ter uma distribuição com efeito temporal imprevisível, supomos que a variação da porcentagem de ocorrência das espécies poderia estar relacionada com a pluviosidade de um certo intervalo de tempo anterior às nossas amostragens independentes da estação do ano.

A presença e abundância de macrófitas aquáticas também se relaciona com outras características da água tais como, transparência, pH, condutividade elétrica e concentração de nutrientes (BINI *et al.*, 1999). A pluviosidade influencia o nível de água, a turbidez, a velocidade de corrente que podem favorecer ou desfavorecer o crescimento de uma ou outra espécie. Machado, Bianchini Jr. e Cunha-Santino (2020) observaram, em um experimento controlado em laboratório, que a turbidez influenciou o crescimento de *E. densa*, aumentando o número de raízes e reduzindo o número de novos brotos à medida que a turbidez aumentava. No entanto, não observamos nenhuma correlação entre a pluviosidade e a porcentagem de ocorrência das duas espécies, embora Sharip, Zaki e Zakaria (2014) tenham observado maior crescimento de *C. furcata* em ambientes mais sombreados e padrão de variação sazonal de biomassa associado à inundação. A ausência de relação entre a chuva e a porcentagem de ocorrência das duas espécies pode estar relacionada com o efeito da pluviosidade na velocidade de corrente que pode favorecer ou desfavorecer o crescimento das duas espécies. Por exemplo, um aumento moderado de velocidade de corrente pode favorecer macrófitas aquáticas submersas com a quebra da *boundary layer* (NEPF, 2012; STEVENS; KURD, 1997). Por outro lado, velocidade de corrente elevada pode remover as macrófitas aquáticas submersas ou aumentar a turbidez e nível de água que desfavorecem o crescimento destes vegetais (BIGGS *et al.*, 2019; GREER *et al.*, 2017).

Thunissen *et al.* (2019) também concluiu que a comunidade de macrófitas aquáticas pode sofrer mudanças na composição e distribuição de espécies caso a velocidade do fluxo de água seja alterada. Períodos mais chuvosos podem elevar o nível de água dos rios e aumentar a turbidez o que pode favorecer *C. furcata* que teve maior crescimento em ambientes mais sombreados como foi observado por Sharip,

Zaki e Zakaria (2014). No entanto, chuvas muito intensas provocam velocidade de fluxo muito elevada que podem remover os bancos de macrófitas submersas, pois os sistemas radiculares destas espécies não são robustos (THUNNISSEN *et al.*, 2019). Provavelmente, a ausência das duas espécies no outono de 2019 ocorreu devido às intensas chuvas no verão deste mesmo ano, que foram superiores a 700 mm. A radiação luminosa é um fator importante para o crescimento das macrófitas submersas e, mesmo em períodos sem chuva, a radiação luminosa varia consideravelmente, pois podemos ter dias ensolarados e nublados na região. Esta variação entre dias claros e nublados também pode ser um fator importante que influencia a porcentagem de ocorrência das duas espécies. Netten *et al.* (2011) encontraram, em pequenos corpos d'água (valas) nos Países Baixos, que a ocorrência de espécies de macrófitas aquáticas flutuantes e submersas perenes é favorecida por uma menor duração solar (medida em horas) e maior precipitação (consequentemente maior cobertura de nuvens) e temperatura.

A correlação significativa que obtivemos com a porcentagem de ocorrência de *E. densa* e *C. furcata* com os subtrechos, provavelmente se relaciona com as características abióticas dos subtrechos. O subtrecho superior tem águas com maior penetração de luz pois o rio Branco recebe as águas claras do rio Mambu, enquanto a maior parte do subtrecho inferior tem a influência das águas pretas do rio Aguapeú. A quantidade de luz e a qualidade da luz nos dois subtrechos são muito diferentes e provavelmente explicam os resultados que obtivemos.

Apesar das variações da maré não influenciarem na salinidade deste trecho do rio Branco, ela influencia no nível da água no subtrecho inferior. Estas flutuações diárias podem explicar a menor chance de ocorrência das duas espécies neste subtrecho. Fernández-Alaéz, Fernández-Alaéz e Bécares (1999) encontraram mudanças

repentinamente na composição de espécies de macrófitas aquáticas em um lago na Espanha após o nível da água aumentar drasticamente. Ao final do período de estudo, estes autores verificaram que várias espécies desapareceram, dando lugar a espécies emergentes, como *Eleocharis palustris* (L.) Roemer & Schultes, devido a redução do nível da água. Estas reduções no nível da água durante as marés baixas, principalmente no inverno em que há menos chuvas, podem fazer com que bancos inteiros de *E. densa* e *C. furcata* fiquem fora da água, levando ao desaparecimento deles pois estas espécies são muito sensíveis a esta condição.

2.5 Conclusão

Nossos resultados revelam que há uma diferença na possibilidade de ocorrência de *E. densa* e *C. furcata* entre os subtrechos do rio Branco. Em um amplo espectro temporal, há mais bancos de ambas as espécies no subtrecho superior, em um ambiente onde a transparência da água tende a ser maior e o nível da água é mais constante. Em contraste, o subtrecho inferior, que possui menor transparência e maior flutuação da profundidade da coluna da água, há uma menor ocorrência das espécies. Estas características moldam a distribuição dos bancos de ambas as espécies e constituem valiosas informações para a preservação e manejo destas duas espécies nativas em ecossistemas aquáticos subtropicais.

REFERÊNCIAS

- BARKO, J. W.; ADAMS, M. S.; CLESCERI, N. L. Environmental factors and their consideration in the management of submersed aquatic vegetation: a review. **Journal of Aquatic Plant Management**, Holly Springs, v. 24, p. 1–10, 1986.
- BARKO, J. W.; SMART, R. M. Comparative influences of light and temperature on the growth and metabolism of selected submersed freshwater macrophytes. **Ecological Monographs**, Washington, v. 51, n. 2, p. 219–235, 1981.
- BIGGS, H. J.; NIKORA, V. I.; GIBBINS, C. N.; CAMERON, S. M.; PAPADOPOULOS, K.; STEWART, M.; FRASER, S.; VETTORI, D.; SAVIO, M.; O'HARE, M. T.; KUCHER, M.; HICKS, D. M. Flow interactions with an aquatic macrophyte: a field study using stereoscopic particle image velocimetry. **Journal of Ecohydraulics**, Madrid, v. 4, n. 2, p. 113–130, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/24705357.2019.1606677>
- BINI, L. M.; THOMAZ, S. M.; MURPHY, K. J.; CAMARGO, A. F. M. Aquatic macrophyte distribution in relation to water and sediment conditions in the Itaipu Reservoir, Brazil. **Hydrobiologia**, The Hague, n. 415, p. 147–154, 1999.
- BLINDOW, I.; ANDERSSON, G.; HARGEBY, A.; JOHANSSON, S. Long-term pattern of alternative stable states in two shallow eutrophic lakes. **Freshwater Biology**, Oxford, v. 30, n. 1, p. 159–167, ago. 1993. 1. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2427.1993.tb00796.x>

- BOEDELTE, G.; SMOLDERS, A. J. P.; ROELOFS, J. G. M.; VAN GROENENDAEL, J. M. Constructed shallow zones along navigation canals: Vegetation establishment and change in relation to environmental characteristics. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, Chichester, v. 11, n. 6, p. 453–471, 2001.
- BOTTINO, F.; CALIJURI, M. do C.; MURPHY, K. J. Temporal and spatial variation of limnological variables and biomass of different macrophyte species in a Neotropical reservoir (São Paulo – Brazil). **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v. 25, n. 4, p. 387–397, 2013.
- CAMARGO, A. F. M.; NUCCI, P. R.; BINI, L. M.; SILVA, U. L. The influence of the geology on the limnological characteristics of some lotic ecosystems of the Itanhaém River Basin, SP-Brazil. **SIL Proceedings, 1922-2010**, [s. l.], v. 26, n. 2, p. 860–864, 1997.
- CAMARGO, A. F. M.; PEREIRA, L. A.; PEREIRA, A. de M. M. Ecologia da Bacia Hidrográfica do Rio Itanhaém. In: CAMARGO, A. F. M.; SCHIAVETTI, A. (Eds.). **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2002. p. 293.
- CAMARGO, A. F. M.; CANCIAN, L. F. Ecologia da bacia do rio Itanhaém: características limnológicas e uso do solo. In: MORAES, M. E. B. De; LORANDI, R. (Eds.). **Métodos e técnicas de pesquisa em bacias hidrográficas**. Ilhéus: Editus, 2016. p. 197–218.
- CASARTELLI, M. R.; FERRAGUT, C. Influence of seasonality and rooted aquatic macrophyte on periphytic algal community on artificial substratum in a shallow

tropical reservoir. **International Review of Hydrobiology**, Berlim, v. 100, p. 158–168, 2015.

CHAMBERS, P. A.; PREPAS, E. E. Competition and coexistence in submerged aquatic plant communities: the effects of species interactions versus abiotic factors. **Freshwater Biology**, Oxford, v. 23, n. 3, p. 541–550, 1 jun. 1990. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2427.1990.tb00293.x>. Acesso em: 22 jan. 2021.

DAR, N. A.; PANDIT, A. K.; GANAI, B. A. Factors affecting the distribution patterns of aquatic macrophytes. **Limnological Review**, Gdańsk, v. 14, n. 2, p. 75–81, 1 jun. 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/271726931_Factors_affecting_the_distribution_patterns_of_aquatic_macrophytes

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Banco de Dados Hidrológicos**. 2020. Disponível em: http://www.hidrologia.daee.sp.gov.br/CTH.Mapas/index_plu.html. Acesso em: 22 ago. 2020.

FERNÁNDEZ-ALÁEZ, C.; FERNÁNDEZ-ALÁEZ, M.; BÉCARES, E. Influence of water level fluctuation on the structure and composition of the macrophyte vegetation in two small temporary lakes in the northwest of Spain. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 415, p. 155–162, 1999.

FU, H.; YUAN, G.; CAO, T.; NI, L.; ZHANG, M.; WANG, S. An alternative mechanism for shade adaptation: Implication of allometric responses of three submersed

macrophytes to water depth. **Ecological Research**, Kyoto, v. 27, n. 6, p. 1087–1094, 2012.

GACIA, E.; BALLESTEROS, E. Production of *Isoetes lacustris* in a Pyrenean lake: seasonality and ecological factors involved in the growing period. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 48, p. 77–89, 1994.

GREER, M. J. C.; HICKS, A. S.; CROW, S. K.; CLOSS, G. P. Effects of mechanical macrophyte control on suspended sediment concentrations in streams. **New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research**, Wellington, v. 51, n. 2, p. 254–278, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00288330.2016.1210174>

HUSSNER, A.; MEYER, C.; BUSCH, J. The influence of water level and nutrient availability on growth and root system development of *Myriophyllum aquaticum*. **Weed Research**, [s. l.], v. 49, p. 73–80, 2008.

JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F. Plant life in the floodplain with special reference to herbaceous plants. In: JUNK, W. J. (Ed.). **The Central Amazon floodplain: Ecological Studies**. Berlin: Springer, 1997. p. 147–185.

KAUL, V.; TRISTAL, C. L.; HANDOO, J. K. Distribution and production of macrophytes in some aquatic bodies of Kashmir. In: SINGH, J. S.; GOPAL, B. (Eds.). **Glimpses of Ecology**. Jaipur: Prakash Publisher, 1978. p. 313–334.

KÕRS, A.; VILBASTE, S.; KÄIRO, K.; PALL, P.; PIIRSOO, K.; TRUU, J.; VIIK, M. Temporal changes in the composition of macrophyte communities and environmental factors governing the distribution of aquatic plants in an unregulated lowland river (Emajõgi, Estonia). **Boreal Environment Research**,

Helsinki, v. 17, n. 6, p. 460–472, 2012. 6. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/286803696> Temporal changes in the composition of macrophyte communities and environmental factors governing the distribution of aquatic plants in an unregulated lowland river Emajogi, Estonia. Acesso em: 22 jan. 2021.

MABERLY, S. C.; MADSEN, T. V. Freshwater angiosperm carbon concentrating mechanisms: processes and patterns. **Functional Plant Biology**, Victoria, v. 29, n. 3, p. 393–405, 2002. 3. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/fp/pp01187>. Acesso em: 1 out. 2021.

MACHADO, R.; BIANCHINI JR., I.; CUNHA-SANTINO, M. B. Temperature and turbidity as drive forces to the growth of *Egeria densa* (Planchon) under controlled conditions. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 164, p. 103234, 31 mar. 2020. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304377020300449>

MARTINS, D.; COSTA, N. V.; TERRA, M. A.; MARCHI, S. R. Caracterização da comunidade de plantas aquáticas de dezoito reservatórios pertencentes a cinco bacias hidrográficas do estado de São Paulo. **Planta Daninha**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 1, p. 17–32, 2008.

MONY, C.; KOSCHNICK, T. J.; HALLER, W. T.; MULLER, S. Competition between two invasive Hydrocharitaceae (*Hydrilla verticillata* (L.f.) (Royle) and *Egeria densa* (Planch)) as influenced by sediment fertility and season. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 86, n. 3, p. 236–242, 1 abr. 2007.

- MURPHY, K.; EFREMOV, A.; DAVIDSON, T. A.; MOLINA-NAVARRO, E.; FIDANZA, K.; CRIVELARI BETIOL, T. C.; CHAMBERS, P.; TAPIA GRIMALDO, J.; VARANDAS MARTINS, S.; SPRINGUEL, I.; KENNEDY, M.; MORMUL, R. P.; DIBBLE, E.; HOFSTRA, D.; LUKÁCS, B. A.; GEBLER, D.; BAASTRUP-SPOHR, L.; URRUTIA-ESTRADA, J. World distribution, diversity and endemism of aquatic macrophytes. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 158, p. 103127, 1 out. 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304377019300300>. Acesso em: 9 abr. 2021.
- NEPF, H. M. Hydrodynamics of vegetated channels. **Journal of Hydraulic Research**, Delft, v. 50, n. 3, p. 262–279, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00221686.2012.696559>
- NETTEN, J. J. C.; ZUIDAM, J. Van; KOSTEN, S.; PEETERS, E. T. H. M. Differential response to climatic variation of free-floating and submerged macrophytes in ditches. **Freshwater Biology**, Oxford, v. 56, p. 1761–1768, 2011.
- NICHOLS, S. A.; SHAW, B. H. Physical, chemical and biological control of aquatic macrophytes. In: 2ND ANNUAL CONFERENCE OF THE NORTH AMERICAN LAKE MANAGEMENT SOCIETY 1982, Washington. **Anais...** Washington: EPA, 1982.
- NUNES, L. S. C.; CAMARGO, A. F. M. The interspecific competition of tropical estuarine macrophytes is not density-dependent. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 164, p. 103233, 2 set. 2020.

- NUNES, L. S. C.; SAITO, V. S.; CAMARGO, A. F. M. Local and regional drivers of macrophyte beta diversity in tropical coastal rivers. **Freshwater Science**, Chicago, v. 40, n. 1, p. 138–150, 2021.
- NUNES, L. S. C.; UMETSU, C. A.; RODRIGUES, M. E. F.; POTT, V. J.; CAMARGO, A. F. M. Inventory of aquatic macrophyte species in coastal rivers of the São Paulo state, Brazil. **Oecologia Australis**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, p. 829–845, 2019.
- PADIAL, A. A.; THOMAZ, S. M. Prediction of the light attenuation coefficient through the Secchi disk depth: Empirical modeling in two large Neotropical ecosystems. **Limnology**, Tóquio, v. 9, n. 2, p. 143–151, ago. 2008.
- PIEIDADE, M. T. F.; LOPES, A.; DEMARCHI, L. O.; CRUZ, J. Da; JUNK, W. J. Os campos naturais e as plantas herbáceas na planície de inundação amazônica e sua utilização. In: JUNK, W. J.; PIEIDADE, M. T. F.; WITTMANN, F.; SCHÖNGART, J. (Eds.). **Várzeas Amazônicas: Desafios para um Manejo Sustentável**. Manaus: Editora do INPA, 2020. p. 310.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**, R Foundation for Statistical Computing, 2021. Disponível em: <https://www.r-project.org/>
- REA, T. E.; KARAPATAKIS, D. J.; GUY, K. K.; PINDER, J. E.; MACKEY, H. E. The relative effects of water depth, fetch and other physical factors on the development of macrophytes in a small southeastern US pond. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 61, n. 4, p. 289–299, 1 ago. 1998.

SHARIP, Z.; ZAKI, A. T. A.; ZAKARIA, S. Flooding Effects on the Population Dynamics of *Cabomba furcata* and *Nelumbo nucifera* in a Shallow Floodplain Wetland. **Wetlands**, McLean, v. 34, n. 4, p. 713–723, 23 out. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13157-014-0536-z>

SOSSEY-ALAOUI, K.; ROSILLO, F. Macrophytic Distribution and Trophic State of Some Natural and Impacted Watercourses - Belgium Wallonia. **International Journal of Water Sciences**, [s. l.], v. 2, n. 3, p. 1, 2013. Disponível em: <https://orbi.uliege.be/handle/2268/149654>. Acesso em: 22 jan. 2021.

STEVENS, C. L.; KURD, C. L. Boundary-layers around bladed aquatic macrophytes. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 346, p. 119–128, 1997.

THOMAZ, S. M.; CARVALHO, P.; MORMUL, R. P.; FERREIRA, F. A.; SILVEIRA, M. J.; MICHELAN, T. S. Temporal trends and effects of diversity on occurrence of exotic macrophytes in a large reservoir. **Acta Oecologica**, Rio de Janeiro, v. 35, n. 5, p. 614–620, 2009.

THOMAZ, S. M.; CARVALHO, P.; PADIAL, A. A.; KOBAYASHI, J. T. Temporal and spatial patterns of aquatic macrophyte diversity in the Upper Paraná River floodplain. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 69, n. SUPPL. 2, p. 617–625, 2009. SUPPL. 2. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-69842009000300016&lng=pt&nrm=iso&tlng=en. Acesso em: 10 abr. 2021.

THOMAZ, S. M.; CUNHA, E. R. Da. The role of macrophytes in habitat structuring in aquatic ecosystems: methods of measurement, causes and consequences on

animal assemblages' composition and biodiversity. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v. 22, n. 02, p. 218–236, 2010.

THUNNISSEN, N. W.; COLLAS, F. P. L.; HENDRIKS, A. J.; LEUVEN, R. S. E. W. Effect of shipping induced changes in flow velocity on aquatic macrophytes in intensively navigated rivers. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 159, p. 103145, 8 ago. 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304377019300403>

WOODWARD, F. I.; WILLIAMS, B. G. Climate and plant distribution at global and local scales. **Vegetatio**, The Hague, v. 69, n. 1–3, p. 189–197, 1987. 1–3.

ZHANG, M.; CAO, T.; NI, L.; XIE, P.; LI, Z. Carbon, nitrogen and antioxidant enzyme responses of *Potamogeton crispus* to both low light and high nutrient stresses. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 68, n. 1, p. 44–50, 2010.

3 CAPÍTULO 2: INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA (PAR) NO CRESCIMENTO DE DUAS ESPÉCIES DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS SUBMERSAS

Resumo: A radiação luminosa é uma variável que pode determinar a distribuição, abundância e crescimento de espécies de macrófitas aquáticas submersas. Assim, utilizando como modelo duas espécies nativas da América do Sul, *Egeria densa* Planch. e *Cabomba furcata* Schult. & Schult., nós realizamos um experimento em laboratório (4 tratamentos x 10 réplicas) para cada espécie, com o objetivo de avaliar a biomassa e o ganho de biomassa em diferentes intensidades de radiação fotossinteticamente ativa. O experimento teve duração de 30 dias e os tratamentos foram: sem sombreamento e 30, 50 e 70 % de sombreamento. Aos valores de biomassa e ganho de massa dos rametes aplicamos uma ANOVA unidirecional para identificar diferenças significativas. Para *E. densa* nós observamos maior ganho de biomassa (1,7 vezes) no tratamento sem sombreamento em relação aos com sombreamento. Para *C. furcata* os maiores ganhos de biomassa (2,5 e 2,2 vezes) ocorreram nos tratamentos com maior sombreamento (50 e 70%, respectivamente) em relação ao sem sombreamento. Os resultados indicam que *E. densa* é uma espécie com maior adaptação a ambientes com maiores níveis de radiação, embora se desenvolva bem ambientes com menor luminosidade, enquanto *C. furcata* se beneficia mais de ambientes mais sombreados, sendo mais sensível a grandes intensidades de radiação luminosa.

Palavras-chave: luminosidade, sombreamento, *Egeria densa*, *Cabomba furcata*, biomassa.

3.1 Introdução

Com a intensificação das mudanças climáticas, podemos notar diversas mudanças nos ambientes aquáticos. Fatores como o aumento das chuvas podem acarretar em um aumento na concentração de nutrientes na água carreados de plantações próximas aos rios e lagos (KITAN; NANG, 2020), além de causar uma redução da transparência de rios e lagos, através da erosão das áreas adjacentes e da agitação de materiais sedimentados (JALIL *et al.*, 2019). Estes autores demonstraram que a velocidade do vento é um importante fator que interfere na dinâmica dos sedimentos em um lago raso na China e que influencia diretamente na turbidez das águas. O

aumento da turbidez e a eutrofização de ambientes aquáticos afetam diretamente as comunidades de seres vivos, incluindo as macrófitas aquáticas.

Macrófitas aquáticas submersas fornecem abrigo a fauna local e também são responsáveis por ajudar a manter a transparência das águas (SCHULZ *et al.*, 2003). O aumento da turbidez pelo descarte incorreto de efluentes e sedimentos em ecossistemas aquáticos e pelo crescimento excessivo de fitoplâncton tem contribuído para o declínio de populações de macrófitas aquáticas (DONG *et al.*, 2018). O depósito de partículas nas folhas das macrófitas e crescimento de perifíton nas mesmas reduzem a incidência e absorção de radiação luminosa pelas folhas (JONES *et al.*, 2012; VERHOFSTAD *et al.*, 2017).

Dentre os fatores bióticos e abióticos que influenciam no crescimento de espécies de macrófitas submersas enraizadas, podemos citar fatores como luminosidade (BARKO; ADAMS; CLESCERI, 1986), temperatura da água (BARKO; SMART, 1981), nutrientes disponíveis (BINI *et al.*, 1999; BOEDELTEJE *et al.*, 2001), composição do substrato (SOSSEY-ALAOUI; ROSILLO, 2013), pluviosidade e a velocidade de corrente da água (REA *et al.*, 1998), turbidez (KAUL; TRISTAL; HANDOO, 1978), nível da água (KÖRS *et al.*, 2012), herbivoria (NICHOLS; SHAW, 1982) e competição (CHAMBERS; PREPAS, 1990; KÖRS *et al.*, 2012).

A luminosidade é considerada o fator limitante principal para o desenvolvimento de espécies submersas (ESTEVES, 2011). Por exemplo, ambientes com maior turbidez aumentam o coeficiente de atenuação de luz, que por sua vez restringe a ocorrência de espécies submersas (KRAUSE-JENSEN; SAND-JENSEN, 1998). Devido a estes fatores estas espécies ocorrem nas regiões litorâneas dos ecossistemas aquáticos, em áreas de deposição de sedimento em que a profundidade é menor. Porém existem

espécies submersas adaptadas a ambientes com menor luminosidade (CARVALHO *et al.*, 2005; DAR; PANDIT; GANAI, 2014).

Egeria densa Planch. (Hydrocharitaceae) e *Cabomba furcata* Schult. & Schult. (Cabombaceae) são duas espécies de macrófitas aquáticas submersas nativas da América do Sul. Estas espécies são abundantes em trechos de rios localizados na planície costeira da bacia do rio Itanhaém e a ocorrência de ambas varia tanto espacial como temporalmente (capítulo 1). Estas variações de porcentagem de ocorrência estão relacionadas com as alterações nas características limnológicas destes ambientes aquáticos que podem afetar o crescimento destas duas espécies em regiões tropicais e subtropicais. A realização de experimentos pode ajudar a esclarecer quais são os fatores responsáveis pela ocorrência e abundância das espécies nos ecossistemas. Portanto, realizamos um experimento em laboratório simulando diferentes condições de incidência de radiação fotossinteticamente ativa (PAR – *Photosynthetically Active Radiation*), com o objetivo de avaliar os efeitos da PAR sobre o crescimento das macrófitas aquáticas submersas *E. densa* e *C. furcata*. Formulamos a hipótese de que as espécies responderão diferentemente aos diferentes níveis de luminosidade.

3.2 Materiais e Métodos

Para avaliar o efeito da radiação fotossinteticamente ativa sobre o crescimento das duas espécies nós realizamos um experimento totalmente aleatorizado composto por quatro tratamentos e 10 réplicas para cada espécie. No tratamento 1 (T1) submetemos os indivíduos a 30% de sombreamento; no tratamento 2 (T2) a 50% de sombreamento; no tratamento 3 (T3) a 70% de sombreamento; e no tratamento controle (Tct) não

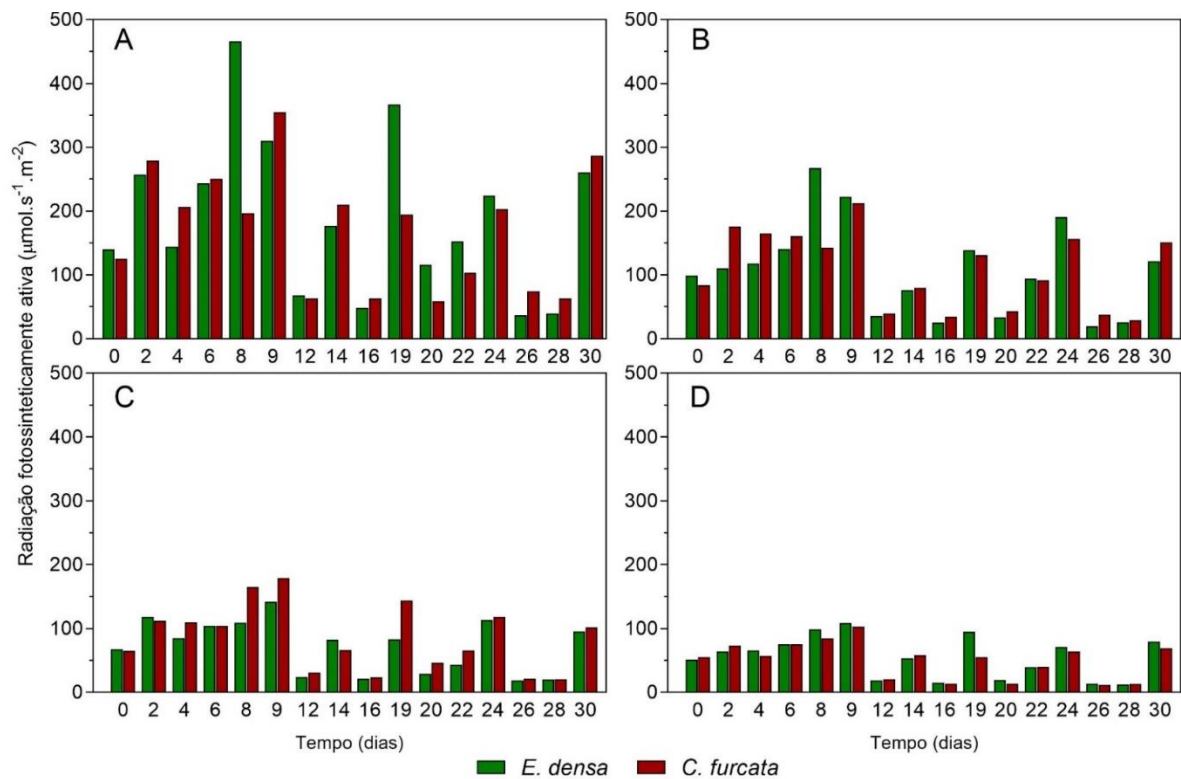
sombreamos os indivíduos (Tabela 1). Em um ambiente com luz natural, utilizamos telas de sombreamento para redução da porcentagem de radiação incidente. Também medimos a radiação fotossinteticamente ativa nos tratamentos durante todo o experimento, as 11 horas da manhã, utilizando um sensor LI-COR® LI 250A (Figura 1).

Tabela 1. Desenho experimental do crescimento de *E. densa* e *C. furcata* submetidas a diferentes níveis de radiação fotossinteticamente ativa incidente, descritas aqui como tratamentos Tct, T1, T2 e T3. (2 culturas x 4 tratamentos x 10 réplicas = 80 unidades experimentais)

Espécies	Tct	T1	T2	T3
<i>Egeria densa</i>	10x	10x	10x	10x
<i>Cabomba furcata</i>	10x	10x	10x	10x

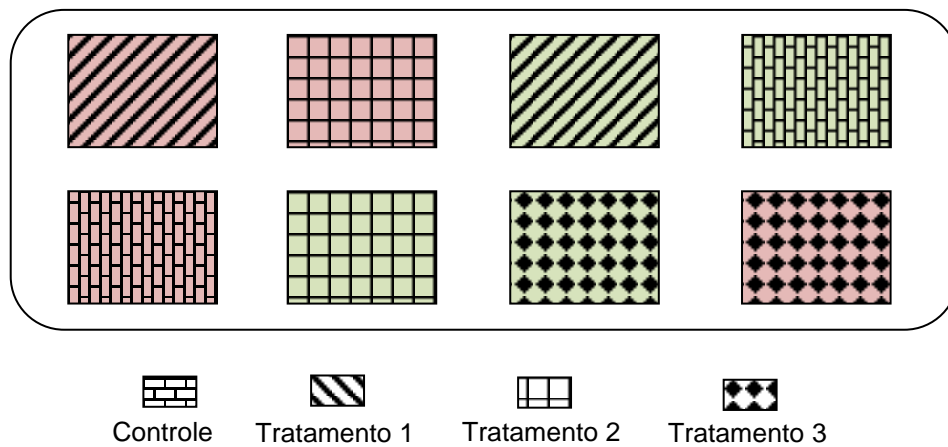
Para a realização do experimento coletamos as duas espécies em um trecho do Rio Branco, na bacia hidrográfica do Rio Itanhaém, litoral sul do estado de São Paulo (24°7'9,14" S / 46°47'58,16" W). O sedimento utilizado no plantio foi coletado no mesmo local em que coletamos as plantas.

Figura 1. Radiação fotossinteticamente ativa durante todo o período do experimento (30 dias), em cada um dos tratamentos, por espécie. (A): Tct – 0% de sombreamento; (B) T1 – 30% de sombreamento; (C) T2 – 50%; e (D) T3 – 70%.



O experimento foi iniciado em 20 de agosto e finalizado em 20 de setembro de 2019, compreendendo 30 dias. Para cada tratamento, separamos dez rametes, com comprimento inicial de 10 cm, de cada espécie, que foram plantados em frascos plásticos (volume de 50 ml) utilizando como substrato o sedimento coletado. Para evitar pseudorréplicas, os frascos com os rametes plantados foram colocados dentro de garrafas tipo PET de 1 litro que foram preenchidas com água, sem ter troca de água entre as garrafas. As garrafas foram acondicionadas em aquários de vidro transparente com aproximadamente 100 litros de capacidade. Os aquários foram preenchidos com água para reduzir a variação de temperatura no interior das garrafas e dispostos aleatoriamente na casa de vegetação (Figuras 2 e 3). Quando necessário o volume de água foi completado.

Figura 2. Esquema com a disposição dos aquários, com cada um dos tratamentos, na casa de vegetação. Os retângulos verdes representam os aquários com *E. densa* e os vermelhos com *C. furcata*.



3.2.1 Regressões lineares

Para a avaliação do crescimento das duas espécies utilizamos um método não destrutivo utilizado por Nunes e Camargo (2017), porém adaptando-o para macrófitas submersas, através da medição do comprimento dos rametes. Para estimar a biomassa seca nós medimos o comprimento de 40 rametes de ambas as espécies e, após secagem em estufa até massa constante, realizamos uma regressão linear entre comprimento e massa seca (Equações 1 e 2).

Figura 3. Experimento montado na casa de vegetação. (A) vista geral do experimento; (B) cultivo de *C. furcata*; (C) cultivo de *E. densa*.



Equação 1: Biomassa total de *E. densa* (g.m^{-2}) = $0,003652 * \text{Comprimento dos rametes de } E. densa \text{ (cm)} + 0,02996$

$r^2 = 0,669$

Equação 2: Biomassa total de *C. furcata* (g.m^{-2}) = $0,001492 * \text{Comprimento dos rametes de } C. furcata \text{ (cm)} - 0,004726$

$r^2 = 0,788$

3.2.2 Biomassa, ganho de biomassa e taxa de crescimento relativo

Em intervalos de dois dias (totalizando 16 medidas), medimos, com o auxílio de uma régua (escala de 0,1 cm), o comprimento dos rametes desde a base do caule até a porção apical, a cada dois dias. Quando surgiram novos brotos nos rametes estes também foram medidos e o comprimento deles foi adicionado ao do ramo principal.

Aos valores de biomassa de cada ramete aplicamos uma regressão linear simples entre estes valores de biomassa e o tempo para compararmos o crescimento de ambas as espécies nos diferentes níveis de radiação fotossinteticamente ativa. Ao final do experimento, calculamos também o ganho de biomassa (Equação 3).

$$\text{Equação 3: } GB_{et} = BF_{et} - BI_{et},$$

onde GB_{et} = ganho de biomassa da espécie e no tratamento t ; BF_{et} = biomassa final da espécie e no tratamento t ; e BI_{et} = biomassa inicial da espécie e no tratamento t .

Calculamos também a taxa de crescimento relativo (*Relative Growth Rate – RGR*) de ambas as espécies em todos os tratamentos de acordo com o descrito por Jackson (1980) (Equação 4) e o tempo de duplicação (*Doubling Time – DT*) de acordo com a fórmula descrita por Mitchell (1974) (Equação 5).

$$\text{Equação 4: } RGR = (\ln BM_F - \ln BM_I) / (T_F - T_I)$$

onde RGR = taxa de crescimento relativo; \ln = logaritmo natural; T = tempo, em dias; BM_{T_1} = biomassa do ramete no primeiro dia; e BM_{T_2} = biomassa do ramete no último dia do experimento.

Equação 5: $DT = \ln 2 / RGR$

onde DT = tempo de duplicação.

3.2.3 *Análise dos dados*

Para identificarmos diferenças significativas entre os valores de biomassa, ganho de biomassa e RGR pelas duas espécies entre cada um dos tratamentos, submetemos os dados a uma análise de variância unidirecional (ANOVA unidirecional), seguidos de um teste de Tuckey. Os tratamentos foram considerados significativos quando o valor de p foi $<0,05$. Anteriormente, para confirmar a normalidade e a homocedasticidade dos dados, os submetemos a um teste de Shapiro Wilk e de Bartlett, respectivamente.

Para elaboração dos gráficos de biomassa, ganho de biomassa e análises estatísticas, utilizamos o *software* GraphPad Prism 5.0 (GPW5-066646-RCG7389) (GRAPHPAD SOFTWARE, 2007).

3.3 Resultados

3.3.1 *Biomassa*

Através das curvas de crescimento de *E. densa*, é possível observar que os indivíduos tiveram maior crescimento no tratamento controle, onde não havia redução na disponibilidade luminosa, enquanto o crescimento foi menos intenso nos outros três tratamentos (Figuras 4 e 5). No entanto, os indivíduos de *C. furcata* apresentaram redução de biomassa nos tratamentos controle, T1 e T3, enquanto em T2 as plantas mantiveram sua biomassa constante ao longo do experimento (Figuras 4 e 5).

Ao realizarmos as análises comparativas sobre os valores de inclinação das retas (coeficiente de crescimento), não encontramos diferenças significativas entre os tratamentos de *E. densa* (Tabela 2) e *C. furcata* (Tabela 3). Para *C. furcata*, todos os valores de inclinação das retas de crescimentos foram negativos, porém o tratamento T2 foi o único que se manteve próximo a uma estabilidade na biomassa (Tabela 3).

Figura 5. Regressões lineares da biomassa de *E. densa* (círculos verdes) e *C. furcata* (quadrados vermelhos) em diferentes luminosidades, mostrando as médias de cada um dos tratamentos e desvio padrão. A = Tct; B = T1 (30%); C = T2 (50%); e D = T3 (70%).

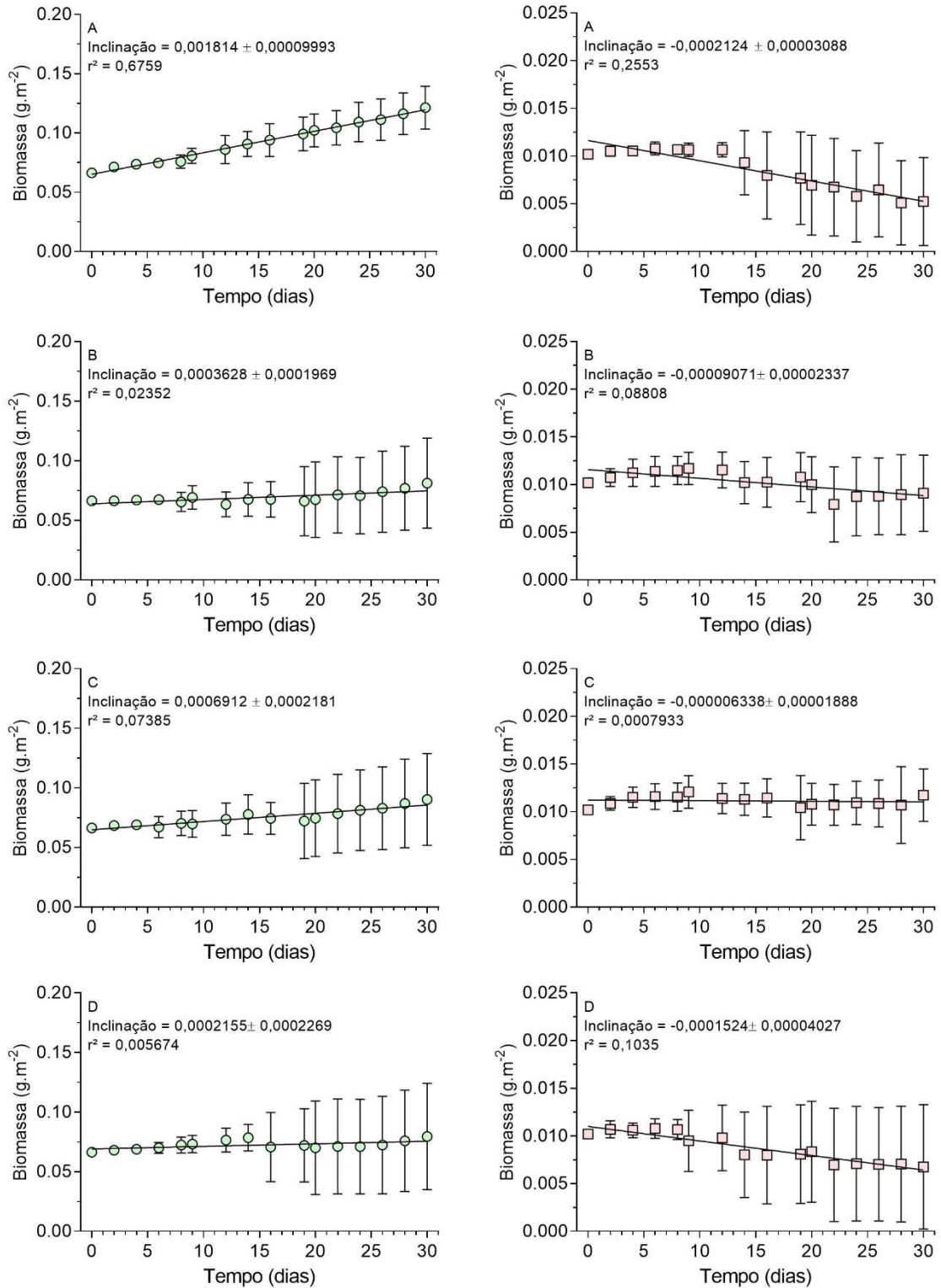


Tabela 2. Valores médios e desvio padrão do coeficiente de inclinação de *E. densa* nos tratamentos Tct (sem sombreamento), T1 (30% de sombreamento), T2 (50%) e T3 (70%).

	Tratamento	Inclinação (%)	Desvio padrão	R ²
<i>E. densa</i>	Tct	0,00184	±0,0009993	0,6759
	T1	0,002856	±0,000736	0,000685
	T2	0,001631	±0,000887	0,001241
	T3	0,003135	±0,00112	0,00051

Tabela 3. Valores médios e desvio padrão do coeficiente de inclinação de *C. furcata* nos tratamentos Tct (sem sombreamento), T1 (30% de sombreamento), T2 (50%) e T3 (70%).

	Tratamento	Inclinação (%)	Desvio padrão	R ²
<i>C. furcata</i>	Tct	-0,0001871	±0,0000291	0,2073
	T1	-0,00009205	±0,00002331	0,08985
	T2	-0,000001742	±0,00001027	0,002049
	T3	-0,0001168	±0,00003373	0,07055

3.3.2 Ganho de biomassa

Para *E. densa*, os resultados da ANOVA mostraram um ganho de biomassa significativamente superior no tratamento controle Tct ($p < 0,0001$) do que nos outros tratamentos (Tabela 4 e Figura 6A). Entre 30%, 50% e 70% de sombreamento, não ocorreram diferenças significativas no acúmulo de biomassa de *E. densa*.

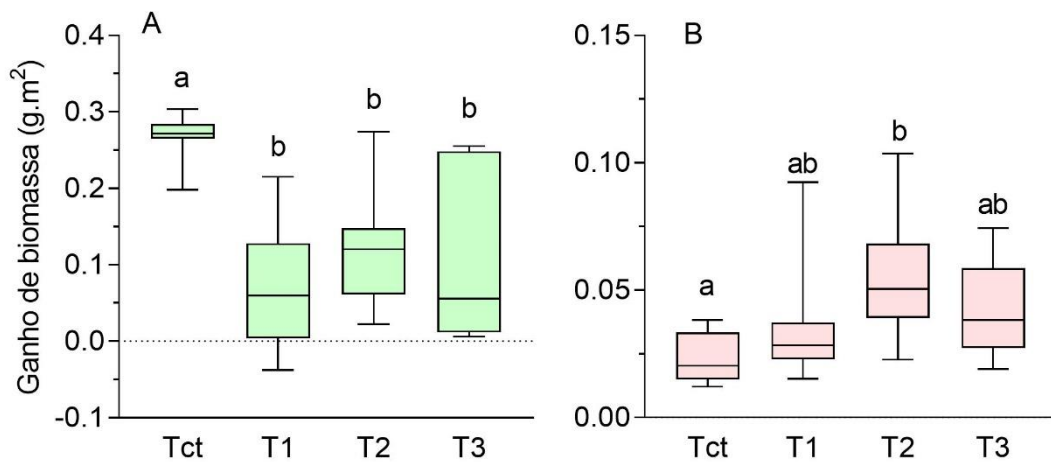
Para *C. furcata* observamos que o ganho de biomassa no tratamento T2 foi significativamente maior ($p = 0,0238$) do que nos outros tratamentos (Tabela 4 e Figura 6B). Podemos observar que à medida que aumentamos a luminosidade incidente, houve uma redução no crescimento dos indivíduos de *C. furcata*.

E. densa teve um maior ganho de biomassa no tratamento com maior intensidade luminosa quando comparado a *C. furcata* que apresentou melhor desenvolvimento no tratamento com 50% de sombreamento.

Tabela 4. Resultados da ANOVA unidirecional para o ganho de biomassa de *E. densa* e *C. furcata*. Os valores significativos estão destacados com um * ($p < 0,05$).

Espécie	F	P
<i>E. densa</i>	13,04	<0,0001*
<i>C. furcata</i>	3,638	0,0238*

Figura 6. Boxplot apresentando o ganho de biomassa de (a) *E. densa* e (b) *C. furcata* nos diferentes tratamentos. Letras diferentes correspondem a diferenças significativas de acordo com o teste de Tuckey; Tct = sem sombreamento; T1 = 30%; T2 = 50%; e T3 = 70%.



3.3.3 Taxa de crescimento relativo (RGR) e tempo de duplicação (DT)

Para *E. densa*, a ANOVA indicou diferenças significativas de RGR apenas entre o tratamento controle (Tct) e os tratamentos T1 e T2, sendo que não encontramos diferença significativa entre os outros tratamentos (Tabela 5 e Figura 7). O menor tempo de duplicação foi encontrado no tratamento T2, 23,2 dias, enquanto o maior foi

150,2 dias, em T1. A tabela 6 mostra os valores médios de RGR e de DT para cada um dos tratamentos de *E. densa*.

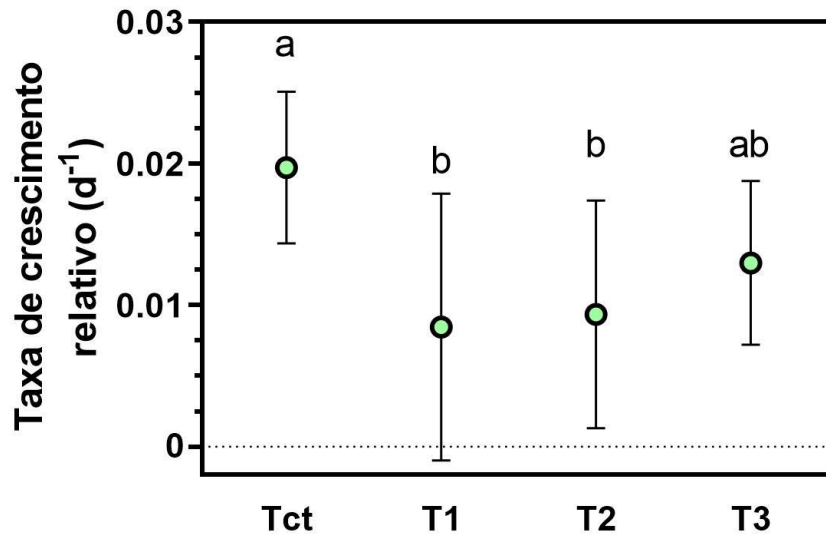
Tabela 5. Resultados da ANOVA unidirecional para o RGR de *E. densa* e *C. furcata*. Os valores significativos estão destacados com um * ($p < 0,05$).

Espécie	F	P
<i>E. densa</i>	4,638	0,0086*
<i>C. furcata</i>	2,139	0,1161

Tabela 6. Média \pm desvio padrão (DP) da taxa de crescimento relativo (RGR) ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) e do tempo de duplicação (DT) de *E. densa* e *C. furcata* para cada um dos tratamentos. Tct = sem sombreamento; T1 = 30%; T2 = 50%; e T3 = 70%.

	Tct	T1	T2	T3
<i>E. densa</i>				
RGR ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	0,020 \pm 0,005	0,008 \pm 0,009	0,009 \pm 0,008	0,013 \pm 0,006
DT (dias)	39,7 \pm 19,8	150,2 \pm 329,6	23,2 \pm 82,9	65,3 \pm 31,9
<i>C. furcata</i>				
RGR ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	-0,010 \pm 0,021	-0,007 \pm 0,016	0,003 \pm 0,008	0,004 \pm 0,005
DT (dias)	-123,1 \pm 207,9	2,4 \pm 73,3	74,2 \pm 186,8	32,9 \pm 204,6

Figura 7. Média e desvio padrão de RGR de *E. densa* nos quatro tratamentos. Letras diferentes indicam diferença significativa entre períodos. Tct = sem sombreamento; T1 = 30%; T2 = 50%; e T3 = 70%.

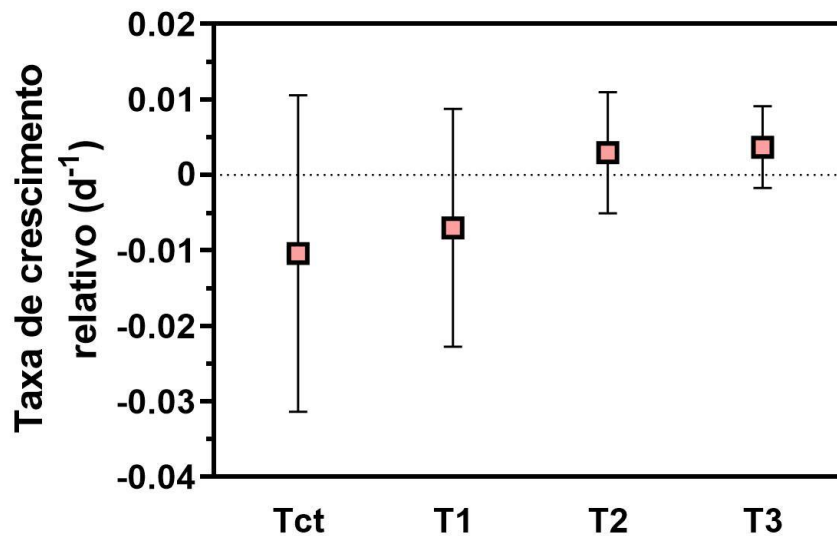


Para *C. furcata* não encontramos diferenças significativas entre a RGR dos diferentes tratamentos (Tabela 5 e Figura 8), no entanto é possível observar uma tendência de aumento da RGR com a redução da radiação. Encontramos o menor tempo de duplicação no tratamento T1 (DT = 2,4 dias) e o maior em T2 (DT = 74,2 dias). A tabela 6 também mostra os valores médios de RGR e de DT para cada um dos tratamentos de *C. furcata*.

3.4 Discussão

Os resultados do nosso experimento corroboram a hipótese de que *E. densa* cresce diferentemente em diferentes níveis de luminosidade. O ganho de biomassa dos indivíduos de *E. densa* no tratamento sem sombreamento foi, em média, 1,7 vezes maior do que nos tratamentos com menor luminosidade. Além disso, a taxa de

Figura 8. Média e desvio padrão de RGR de *C. furcata* nos quatro tratamentos. Letras diferentes indicam diferença significativa entre períodos. Tct = 0% de sombreamento; T1 = 30%; T2 = 50%; e T3 = 70%.



crescimento relativo também foi significativamente maior para esta espécie no tratamento controle. Outros autores também observaram maior crescimento de *E. densa* em maior intensidade de luz como Ellawala-Kankamange, Matheson e Riis (2019). Estes autores, em um experimento realizado na Nova Zelândia com quatro espécies de macrófitas aquáticas submersas, encontraram que *E. densa* e *Elodea canadensis* tiveram maior crescimento com menor sombreamento (35%). Posteriormente estes mesmos autores, em um outro estudo (ELLAWALA-KANKANAMGE; MATHESON; RIIS, 2020) testaram se diferentes níveis de luminosidade influenciariam o crescimento e competição de *E. densa* e *E. canadensis* e confirmaram que ambas as espécies tiveram maior crescimento em menores níveis de sombreamento e que *E. densa* induziu o crescimento de *E. canadensis* com 35% de sombreamento.

C. furcata, por outro lado, apresentou maior ganho de biomassa no tratamento com 50% de sombreamento e tendência de aumento da taxa de crescimento relativo com a redução da intensidade luminosa. Assim, esta espécie pode ser considerada uma espécie de sombra. Outras espécies de macrófitas aquáticas submersas também

tem maior crescimento em ambientes mais sombreados. Ellawala-Kankamange, Matheson e Riis (2019) observaram experimentalmente que a espécie submersa *Ceratophyllum demersum* teve maior crescimento em sombreamento intermediário (63%), enquanto *Nitella* aff. *cristata* teve maior crescimento em altos níveis de sombreamento (90 e 95%). Middelboe e Markager (1997) em um estudo sobre profundidade máxima de colonização de cinco grupos de plantas aquáticas, observaram diferenças sistemáticas entre os grupos e a transparência da água. Os resultados do nosso experimento mostram que *E. densa* e *C. furcata* tem maior crescimento em diferente intensidade luminosa o que pode explicar a variação temporal e espacial da ocorrência destas espécies como mostramos no capítulo 1.

Destacamos também que diferentes espécies de macrófitas aquáticas submersas podem desenvolver estratégias de adaptação à intensidade luminosa. Por exemplo, *E. densa* apresenta um alongamento dos entrenós, uma estratégia para alcançar mais rapidamente a superfície da água em ambientes com baixa disponibilidade de luz (DOLLERUP; RIIS; CLAYTON, 2013) e que observamos nos tratamentos com sombreamento. Algumas espécies submersas do gênero *Potamogeton* acumulam flavonóides (substâncias capazes de proteger contra radiação UV) em suas folhas em períodos de maior incidência luminosa (ROBERTS; HAYNES, 1986). Nós observamos em campo que a parte apical de rametes de *C. furcata* possui coloração arroxeada, possivelmente devido à presença de antocianinas que são uma classe de flavonóides e que podem permitir a ocorrência desta espécie mesmo em intensidades de luz elevadas (MALEVA et al., 2018; RABINO; MANCINELLI, 1986).

Outros fatores, além da intensidade luminosa, também interferem no crescimento de macrófitas submersas. Machado, Bianchini Jr. e Cunha-Santino

(2020) observaram que em temperaturas mais elevadas (27°C) *E. densa* cresceu cerca de 2,5 vezes mais do que a 25°C. A 25°C as plantas tiveram crescimento máximo de cerca de 40 cm, enquanto a 27°C cresceram até cerca de 95 cm. Nosso maior indivíduo de *E. densa* alcançou apenas 30,5 cm de comprimento. Destacamos que o trabalho de Machado, Bianchini Jr. e Cunha-Santino (2020) foi realizado em laboratório com temperaturas controladas enquanto nosso experimento teve grande variação de temperatura, pois foi realizado em ambiente externo, alcançando 35°C em dias mais quentes e 16°C nos dias frios, o que pode explicar o menor acúmulo de biomassa. De fato, Yu *et al.* (2018) evidenciaram que mudanças drásticas e em curtos períodos de tempo da temperatura, com frequência constante e a longo prazo, podem reduzir o desenvolvimento de *E. densa*.

Na tabela 7 apresentamos os máximos e mínimos de RGR e DT de várias espécies de macrófitas aquáticas em estudos de diferentes autores. Destacamos que alguns estudos foram realizados em campo (p. ex. Rubim e Camargo, 2001), outros em laboratório em condições totalmente controladas (p. ex. Machado, Bianchini Jr. e Cunha-Santino, 2020) e outros ainda em experimentos semi controlados (p. ex. Pistori, Camargo e Henry-Silva, 2004 e este trabalho). Assim as causas da variação do RGR e tempo de duplicação se devem a diferentes fatores. A variação observada por Machado, Bianchini Jr. e Cunha-Santino (2020) está relacionada principalmente com a temperatura, enquanto a variação observada por Pistori, Camargo e Henry-Silva (2004) com a densidade/biomassa vegetal. No caso deste nosso trabalho com o sombreamento/intensidade luminosa.

Tabela 7. Taxa de crescimento relativo (RGR) e tempo de duplicação (DT) de algumas espécies de macrófitas aquáticas em diferentes condições experimentais. S = submersas; F = flutuantes.

Espécie	Forma de vida	RGR (dia⁻¹)	DT (dias)	Autores
<i>Cabomba furcata</i>	S	0,002-0,016	2,4-74,2	Este estudo
<i>C. piauhyensis</i> *	S	0,048-0,08	8,7-14,4	Valleta (2007)
<i>Egeria densa</i>	S	0,009-0,063	12-194	Pistori, Camargo e Henry-Silva (2004)
<i>E. densa</i> *	S	0,057-0,088	7,8 - 12	Machado, Bianchini Jr. e Cunha-Santino (2020)
<i>E. densa</i>	S	0-0,025	23,2-150,2	Este estudo
<i>Eichornia crassipes</i>	F	0,01-0,06	11,6-69,3	Reddy e DeBusk (1984)
<i>Salvinia molesta</i>	F	0,045-0,16	4,2-15,4	Sale <i>et al.</i> (1985)
<i>S. molesta</i>	F	0,11-0,20	3,5-7,1	Rubim e Camargo (2001)
<i>S. molesta</i>	F	0,01-0,031	22,4-69,3	Henry-Silva <i>et al.</i> (2002)

* Taxa de crescimento calculada da “constante de taxa de crescimento (*Growth Rate Constant – rm*)” ($dN / dt = rm.N (1 - N / K)$); fórmula descrita por Press *et al.* (1993).

3.5 Conclusão

Concluimos que diferentes níveis de radiação luminosa podem ser um dos fatores responsáveis pelas diferenças no crescimento de *E. densa* e *C. furcata*. *E. densa* é favorecida em ambientes com maior luminosidade, enquanto *C. furcata* se desenvolve melhor em ambientes aquáticos com menor disponibilidade de radiação luminosa. Outras variáveis também tem influência no crescimento de macrófitas aquáticas, assim a realização de mais estudos para compreender os fatores que regulam o crescimento dessas duas espécies nativas são de suma importância. Destacamos que *E. densa* é uma espécie que foi introduzida em vários continentes e atualmente possui ampla distribuição geográfica e características de espécie invasora, enquanto *C. furcata* tem uma distribuição mais restrita.

REFERÊNCIAS

- BARKO, J. W.; ADAMS, M. S.; CLESCERI, N. L. Environmental factors and their consideration in the management of submersed aquatic vegetation: a review. **Journal of Aquatic Plant Management**, Holly Springs, v. 24, p. 1–10, 1986.
- BARKO, J. W.; SMART, R. M. Comparative influences of light and temperature on the growth and metabolism of selected submersed freshwater macrophytes. **Ecological Monographs**, Washington, v. 51, n. 2, p. 219–235, 1981.
- BINI, L. M.; THOMAZ, S. M.; MURPHY, K. J.; CAMARGO, A. F. M. Aquatic macrophyte distribution in relation to water and sediment conditions in the Itaipu Reservoir, Brazil. **Hydrobiologia**, The Hague, n. 415, p. 147–154, 1999.
- BOEDELTEJE, G.; SMOLDERS, A. J. P.; ROELOFS, J. G. M.; VAN GROENENDAEL, J. M. Constructed shallow zones along navigation canals: Vegetation establishment and change in relation to environmental characteristics. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, Chichester, v. 11, n. 6, p. 453–471, 2001.
- CARVALHO, F. T.; VELINI, E. D.; CAVENAGHI, A. L.; NEGRISOLI, E.; CASTRO, R. M.; CARVALHO. Influência da turbidez da água do rio Tietê na ocorrência de plantas aquáticas. **Planta Daninha**, Londrina, v. 23, n. 2, p. 359–362, 10 set. 2005. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582005000200025&lng=pt&tlng=pt

CHAMBERS, P. A.; PREPAS, E. E. Competition and coexistence in submerged aquatic plant communities: the effects of species interactions versus abiotic factors. **Freshwater Biology**, Oxford, v. 23, n. 3, p. 541–550, 1 jun. 1990. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2427.1990.tb00293.x>. Acesso em: 22 jan. 2021.

DAR, N. A.; PANDIT, A. K.; GANAI, B. A. Factors affecting the distribution patterns of aquatic macrophytes. **Limnological Review**, Gdańsk, v. 14, n. 2, p. 75–81, 1 jun. 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/271726931_Factors_affecting_the_distribution_patterns_of_aquatic_macrophytes

DENG, J.; LU, X.; HU, W.; XU, Z. Nutrient and organic matter in the surface sediment of a submerged macrophyte zone in a eutrophic lake: Implications for lake management. **International Journal of Sediment Research**, [s. l.], 17 nov. 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1001627921000743>. Acesso em: 26 nov. 2021.

DOLLERUP, K.; RIIS, T.; CLAYTON, J. S. Do patterns of establishment support invasive status of five aquatic plants in New Zealand? **Journal of Aquatic Plant Management**, Holly Springs, v. 51, p. 1–6, 2013.

DONG, J.; ZHOU, Q.; GAO, Y.; GU, Q.; LI, G.; SONG, L. Long-term effects of temperature and nutrient concentrations on the phytoplankton biomass in three lakes with differing trophic statuses on the Yungui Plateau, China. **Annales de Limnologie - International Journal of Limnology**, Toulouse, v. 54, n. 9, 2018. Disponível em: <https://www.limnology->

journal.org/articles/limn/full_html/2018/01/limn170009/limn170009.html. Acesso em: 20 out. 2021.

ELLAWALA-KANKANAMGE, C.; MATHESON, F. E.; RIIS, T. Shading constrains the growth of invasive submerged macrophytes in streams. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 158, p. 103125, 3 out. 2019. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304377019301184>

ELLAWALA-KANKANAMGE, C.; MATHESON, F. E.; RIIS, T. Shading may alter the colonization pattern and dominance between two invasive submerged aquatic plant species. **Aquatic Ecology**, Dordrecht, v. 54, p. 721–728, 2020. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10452-020-09770-0>

ESTEVEES, F. de A. **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

GRAPHPAD SOFTWARE. **Prism (data analyses software system)**, GraphPad Software, 2007. Disponível em: <https://www.graphpad.com/>

JACKSON, G. A. Marine biomass production through seaweed aquaculture. In: PIETRO, A. S. (Ed.). **Biochemical and photosynthetic aspects of energy production**. Nova Iorque: Elsevier, 1980. p. 31–58.

JALIL, A.; LI, Y.; ZHANG, K.; GAO, X.; WANG, W.; KHAN, H. O. S.; PAN, B.; ALI, S.; ACHARYA, K. Wind-induced hydrodynamic changes impact on sediment resuspension for large, shallow Lake Taihu, China. **International Journal of Sediment Research**, [s. l.], v. 34, n. 3, p. 205–215, 2019.

JONES, J. I.; COLLINS, A. L.; NADEN, P. S.; SEAR, D. A. The relationship between fine sediment and macrophytes in rivers. **River Research and Applications**, Chichester, v. 28, p. 1006–1018, 1 set. 2012. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/rra.1486>. Acesso em: 20 out. 2021.

KAUL, V.; TRISTAL, C. L.; HANDOO, J. K. Distribution and production of macrophytes in some aquatic bodies of Kashmir. In: SINGH, J. S.; GOPAL, B. (Eds.). **Glimpses of Ecology**. Jaipur: Prakash Publisher, 1978. p. 313–334.

KITAN, Y. A.; NANG, S. C. S. Influence of seasonal rainfall to the water quality of slim river lake in Perak, Malaysia. **Plant Archives**, Etawah, v. 20, n. 1, p. 2191–2198, 2020.

KÕRS, A.; VILBASTE, S.; KÄIRO, K.; PALL, P.; PIIRSOO, K.; TRUU, J.; VIIK, M. Temporal changes in the composition of macrophyte communities and environmental factors governing the distribution of aquatic plants in an unregulated lowland river (Emajõgi, Estonia). **Boreal Environment Research**, Helsinki, v. 17, n. 6, p. 460–472, 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/286803696> Temporal changes in the composition of macrophyte communities and environmental factors governing the distribution of aquatic plants in an unregulated lowland river Emajõgi, Estonia. Acesso em: 22 jan. 2021.

KRAUSE-JENSEN, D.; SAND-JENSEN, K. Light attenuation and photosynthesis of aquatic plant communities. **Limnology and Oceanography**, Baltimore, v. 43, n. 3, p. 396–407, 1 maio. 1998. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.4319/lo.1998.43.3.0396>. Acesso em: 18 jan. 2021.

- MACHADO, R.; BIANCHINI JR., I.; CUNHA-SANTINO, M. B. Temperature and turbidity as drive forces to the growth of *Egeria densa* (Planchon) under controlled conditions. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 164, p. 103234, 31 mar. 2020. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304377020300449>
- MALEVA, M.; GARMASH, E.; CHUKINA, N.; MALEC, P.; WALOSZEK, A.; STRZAŁKA, K. Effect of the exogenous anthocyanin extract on key metabolic pathways and antioxidant status of Brazilian elodea (*Egeria densa* (Planch.) Casp.) exposed to cadmium and manganese. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Amsterdam, v. 160, p. 197–206, 2018.
- MIDDELBOE, A. L.; MARKAGER, S. Depth limits and minimum light requirements of freshwater macrophytes. **Freshwater Biology**, Oxford, v. 37, n. 3, p. 553–568, 1997.
- MITCHELL, D. S.; TUR, N. M. The rate growth of *Salvinia molesta* (*S. auriculata* auct.) in laboratory and natural conditions. **Journal of Applied Ecology**, Londres, v. 12, n. 1, p. 213–225, 1975.
- NICHOLS, S. A.; SHAW, B. H. Physical, chemical and biological control of aquatic macrophytes. In: 2ND ANNUAL CONFERENCE OF THE NORTH AMERICAN LAKE MANAGEMENT SOCIETY 1982, Washington. **Anais...** Washington: EPA, 1982.
- NUNES, L. S. C.; CAMARGO, A. F. M. A simple non-destructive method for estimating aboveground biomass of emergent aquatic macrophytes. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v. 29, p. 6, 2017.

- PARENDES, L. A.; JONES, J. A. Role of light availability and dispersal in exotic plant invasion along roads and streams in the H.J. Andrews Experimental Forest, Oregon. **Conservation Biology**, Boston, v. 14, n. 1, p. 64–75, 1 fev. 2000. Disponível em: <https://conbio.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1046/j.1523-1739.2000.99089.x>. Acesso em: 14 jan. 2021.
- PISTORI, R. E. T.; CAMARGO, A. F. M.; HENRY-SILVA, G. G. Relative growth rate and doubling time of the submerged aquatic macrophyte *Egeria densa* Planch. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v. 16, n. 1, p. 77–84, 2004.
- RABINO, I.; MANCINELLI, A. L. Light, Temperature, and Anthocyanin Production. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 81, p. 922–924, 1986.
- REA, T. E.; KARAPATAKIS, D. J.; GUY, K. K.; PINDER, J. E.; MACKEY, H. E. The relative effects of water depth, fetch and other physical factors on the development of macrophytes in a small southeastern US pond. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 61, n. 4, p. 289–299, 1 ago. 1998.
- REDDY, K. R.; DEBUSK, W. F. Growth characteristics of aquatic macrophytes cultured in nutrient-enriched water: I. Water Hyacinth, Water Lettuce, and Pennywort. **Economic Botany**, Nova Iorque, v. 38, n. 2, p. 229–239, 1984.
- ROBERTS, M. L.; HAYNES, R. R. Flavonoid systematics of *Potamogeton* subsections *Perfoliati* and *Praelongi* (Potamogetonaceae). **Nordic Journal of Botany**, Copenhagen, v. 6, n. 3, p. 291–294, 1986.
- RUBIM, M. A. L.; CAMARGO, A. F. M. Taxa de crescimento específico da macrófita aquática *Salvinia molesta* Mitchell em um braço do Rio Preto, Itanhaém, São Paulo. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v. 13, n. 1, p. 75–83, 2001.

- SALE, P. J. M.; ORR, P. T.; SHELL, G. S.; ERSKINE, D. J. C. Photosynthesis and Growth Rates in *Salvinia molesta* and *Eichhornia crassipes*. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 22, n. 1, p. 125–137, 1985.
- SCHULZ, M.; KOZERSKI, H. P.; PLUNTKE, T.; RINKE, K. The influence of macrophytes on sedimentation and nutrient retention in the lower River Spree (Germany). **Water Research**, Nova Iorque, v. 37, n. 3, p. 569–578, 1 fev. 2003.
- SOSSEY-ALAOUI, K.; ROSILLO, F. Macrophytic Distribution and Trophic State of Some Natural and Impacted Watercourses - Belgium Wallonia. **International Journal of Water Sciences**, [s. l.], v. 2, n. 3, p. 1, 2013. Disponível em: <https://orbi.uliege.be/handle/2268/149654>. Acesso em: 22 jan. 2021.
- TAVECHIO, W. L. G.; THOMAZ, S. M. Effects of light on the growth and photosynthesis of *Egeria najas* Planchon. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 46, n. 2, p. 203–209, 2003.
- VALLETA, L. S. A. **Taxas fotossintéticas e crescimento de *Cabomba piauhyensis* da lagoa do Óleo (Estação Ecológica de Jataí, Município de Luiz Antônio, SP)**. 2007. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.
- VERHOFSTAD, M. J. J. M.; ALIRANGUES NÚÑEZ, M. M.; REICHMAN, E. P.; VAN DONK, E.; LAMERS, L. P. M.; BAKKER, E. S. Mass development of monospecific submerged macrophyte vegetation after the restoration of shallow lakes: Roles of light, sediment nutrient levels, and propagule density. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 141, p. 29–38, jul. 2017.

- XU, C.; WANG, H.-J.; LI, Y.; XU, C.; YU, Q.; LIU, M.; ZHANG, M.; WANG, H.-Z.; HAMILTON, D. P.; JEPPESEN, E. Can artificial light promote submerged macrophyte growth in summer? **Aquatic Ecology**, Dordrecht, v. 6, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10452-021-09899-6>
- XU, C.; WANG, H.-J.; YU, Q.; WANG, H.-Z.; LIANG, X.-M.; LIU, M.; JEPPESEN, E. Effects of artificial LED light on the growth of three submerged macrophyte species during the low-growth winter season: implications for macrophyte restoration in small eutrophic lakes. **Water**, Basel, v. 11, n. 7, p. 1512, 21 jul. 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/7/1512>
- YUAN, G.; FU, H.; ZHANG, M.; LOU, Q.; DAI, T.; JEPPESEN, E. Effects of plant size on the growth of the submersed macrophyte *Vallisneria spinulosa* S.Z.Yan at different light intensities: implications for lake restoration. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 847, p. 3609–3619, 17 ago. 2020. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10750-020-04374-z>

4 CONCLUSÃO GERAL

Com base nos resultados e discussões dos dois capítulos desta dissertação, concluímos que *E. densa* e *C. furcata* possuem uma rápida dinâmica temporal e distribuição espacial, porém sem um padrão sazonal aparente, sendo que a pluviosidade não é um dos fatores diretamente ligados a estas dinâmicas. Ambas possuem diferentes preferências em relação a incidência de radiação luminosa e, por consequência, este pode ser um dos fatores que explicam a diferença na ocorrência destas espécies em curtos espaços de tempo e entre os trechos do rio Branco. Estudos envolvendo as relações de competição entre *E. densa* e *C. furcata* são escassos e devem ser abordados em estudos futuros. Esperamos fomentar novos estudos com os resultados apresentados neste trabalho, contribuindo para a preservação destas duas espécies nativas e com a continuidade dos estudos ecológicos nesta bacia hidrográfica.