



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
MUSEU PARAENSE EMILIO GOELDI



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS – BOTÂNICA
TROPICAL

DILENE GOMES LICÁ DE MELO

EFEITOS DO SOMBREAMENTO E EUTROFIZAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO
DE UMA MACRÓFITAS INVASORA

Belém

2022

DILENE GOMES LICÁ DE MELO

EFEITOS DO SOMBREAMENTO E EUTROFIZAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO
DE UMA MACRÓFITA INVASORA

Dissertação apresentada ao Programa de Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, na área de Botânica Tropical, da Universidade Federal Rural da Amazônia e do Museu Paraense Emílio Goeldi. Com Linha de Pesquisa: Ecologia, Manejo e Conservação. Subárea: Ecologia de Macrófitas Aquáticas. Como requisito para obter o título de Mestre.

Orientadora: Dra. Thaísa Sala Michelan.

Coorientadora: Dra. Grazielle Sales Teodoro.

BELÉM

2022

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

M528e Melo, Dilene Gomes Licá de

Efeitos do Sombreamento e Eutrofização no desenvolvimento de uma
macrófita invasora. / Dilene Gomes Licá de Melo - 2022.

43 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Ciências
Biológicas (CB), Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da
Amazônia, Belém, 2022.

Orientador: Profa. Dra. Thaisa Sala Michelin.

Coorientador: Profa. Dra. Grazielle Sales Teodoro.

1. Bibliotecas Universitárias. I. Michelin, Thaisa Sala, *orient.* II. Título

CDD 581.31

DILENE GOMES LICÁ DE MELO

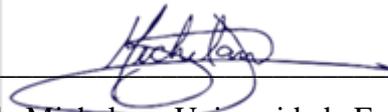
EFEITOS DO SOMBREAMENTO E EUTROFIZAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO
DE UMA MACRÓFITA INVASORA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA e do Museu Paraense Emílio Goeldi, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Botânica Tropical, na Linha de Pesquisa em Ecologia, Manejo e Conservação e Subárea em Ecologia de Macrófitas aquáticas para a obtenção do Título de Mestre.

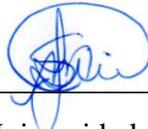
Orientadora: Dra. Thaísa Sala Michelan.

Coorientadora: Dra. Grazielle Sales Teodoro.

BANCA EXAMINADORA



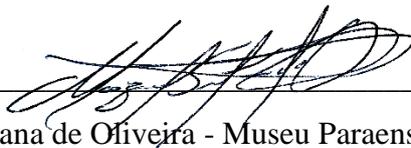
Prof^a. Dr^a. Thaísa Sala Michelan - Universidade Federal do Pará – UFPA
Orientadora



Prof^o Dr^o Márcio José da Silveira - Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG
1^o Examinador



Prof^a Dr^a Vanessa de Carvalho Harthman - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS
2^o Examinadora



Prof^o Dr^o Mozaniel Santana de Oliveira - Museu Paraense Emílio Goeldi - MPEG
3^o Examinador

Dedico este trabalho com todo o meu amor e carinho, a quem tem sido a razão e inspiração da minha vida, ao meu filho, GEORGE DANIEL. Por ele e para ele.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

A minha gratidão vai primeiramente a Deus por me conceder a aprovação no mestrado, por sabedoria, inteligência, fé, força, mas principalmente, por preservar a minha vida durante a pandemia do Covid-19. Foram momentos difíceis e de muita incerteza, e se não fosse pela Graça e a Misericórdia de Deus não teria conseguido realizar este projeto.

Agradeço também ao Museu Paraense Emílio Goeldi, a Coordenação do curso de Pós-Graduação de Botânica Tropical (PPGBOT) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pela oportunidade oferecida de realização do mestrado. Gostaria de agradecer também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (processo: 433125/2018-7) e ao projeto “Aquatic biota monitoring of streams in mining areas of Paragominas, Pará, Brazil” (BRC - Brazilian Research Consortium e Hydro Paragominas Company) pelo suporte financeiro para realização desse experimento.

Aos professores que se empenharam em enriquecer minha mente com instruções relevantes, criando e buscando recursos para oferecer um ensino de qualidade. Em meio à pandemia, todos nós tivemos que inovar.

A minha orientadora, Dra Thaisa Michelan, pelo aceite e por seu desempenho de fazer o seu melhor para me ajudar a desenvolver esta pesquisa, na conclusão do objetivo de construção do conhecimento e por apresentar o universo das macrófitas, especialmente da espécie *Urochloa arrecta*. Gratidão!

A minha coorientadora, Dra Grazielle Salles, por sua parceria e amizade. Suas orientações científicas excelentes, sua palavra amiga, sua confiança. O seu incentivo me ajudou a concretizar o sonho de subir mais um degrau na minha carreira acadêmica. Muito obrigada por tudo!

Ao Laboratório de Ecologia de Produtores Primários (ECOPRO) por fornecer o ambiente para construção e conclusão do experimento, e aos companheiros do mesmo pela ajuda e apoio, e o compartilhamento de conhecimento. E aos alunos do estágio

rotatório. A primeira turma que iniciou o projeto e a segunda turma que finalizou o mesmo. Obrigada por “meterem a mão na massa”.

A minha turma de mestrado (2020) por estarmos juntos nas aulas, alegrias e desesperos (risos (Rsrsr) faz parte), mesmo de forma virtual. Foi maravilhoso conhecer vocês.

As pessoas que me inspiraram na continuação desse processo nos momentos em que mais precisei ouvir incentivos. Como foram os colegas com quem trabalho na rede do Estado do Pará.

E por fim, e mais significativa, a minha FAMÍLIA. Ao meu esposo, GIOVANNI, que esteve acompanhando cada detalhe. Obrigada pelo amor, companheirismo e pela torcida. E especialmente, ao meu filho GEORGE, que em sua meninice compreendia que a mamãe precisava estudar, e agora me espera para brincarmos juntos.

Portanto, agradeço a contribuição de todos que de forma direta ou indireta participaram desta meta. Não foi fácil, mas consegui.

Muito Obrigada!

“Sabemos que todas as coisas cooperam para o bem daqueles que amam a Deus, daqueles que são chamados segundo o Seu propósito”.

Romanos 8: 28.

Resumo

As macrófitas aquáticas são fundamentais para a manutenção e equilíbrio dos ecossistemas aquáticos por desempenharem importantes funções. A eutrofização é um processo que ocorre especialmente pelas intervenções humanas que permitem mudanças na quantidade de nutrientes nos cursos d'água que podem favorecer no crescimento excessivo das macrófitas aquáticas, principalmente de espécies invasivas. O efeito do sombreamento no desenvolvimento de vegetais pode desencadear respostas estratégicas de acordo com a quantidade de luz que é oferecido a eles. A mata ciliar desenvolve um papel importante na proteção, conservação e recuperação de fatores bióticos e abióticos dos ambientes ripários. A espécie *Urochloa arrecta* é uma Poaceae vinda da África com alto potencial de regeneração podendo ser agressiva nos ambientes aquáticos. O objetivo desse trabalho foi testar experimentalmente o efeito de diferentes níveis de sombreamento e eutrofização no crescimento da espécie em estudo, *Urochloa arrecta*. Para isso, foram montadas estruturas e todo material necessário para iniciar o experimento no ano de 2021 com duração de 98 dias, quando os brotos mostraram-se estabelecidos. A simulação do sombreamento foi através de redes de sombrites (0%, 30%, 60% e 80%) e a simulação da eutrofização por meio da concentração dos nutrientes (S - Controle, M - Moderada com 5g de adição de nutrientes e B - Alta com 10g de adição de nutriente). No final do experimento, as plantas que se desenvolveram foram extraídas, lavadas, mensuradas, secas em estufa e pesadas. As variáveis respostas mensuradas foram número de brotos, altura, biomassa aérea e biomassa da raiz. Para responder nosso objetivo foi usada o Modelo Linear Generalizado para fazer o teste estatístico. Nossos resultados mostraram que para o número de brotos, a média da altura dos brotos, a biomassa da raiz, houve efeito significativo na concentração de nutrientes. Enquanto, na biomassa aérea houve interação significativa entre os tratamentos (sombreamento e concentração de nutrientes). Nesse trabalho, identificamos que a concentração de nutrientes desempenha um papel muito importante e significativo para o crescimento clonal dos propágulos da espécie *Urochloa arrecta*. As informações deste estudo são relevantes para a regulação do potencial de invasão da espécie em estudo no meio aquático para evitar sua proliferação e futuros prejuízos nas interações ecológicas e conservar a biodiversidade aquática.

Palavras-chaves: Biodiversidade. Conservação. *Urochloa arrecta*. Ecossistema aquático. Reprodução vegetativa.

Abstract

Aquatic macrophytes are essential for the maintenance and balance of aquatic ecosystems as they play important roles. Eutrophication is a process that occurs especially through human interventions that allow changes in the amount of nutrients in water courses that can favor the excessive growth of aquatic macrophytes, especially invasive species. Shading on plant development can trigger strategic responses according to the amount of light that is offered to them. The riparian forest plays an important role in the protection, conservation and recovery of biotic and abiotic factors in riparian environments. *Urochloa arrecta* is a Poaceae from Africa with high regeneration potential and can be aggressive in aquatic environments. The objective of this work was to evaluate experimentally the effect of different levels of shading and eutrophication on the growth of the species under study, *Urochloa arrecta*. For this, structures and all the necessary material were assembled to start the experiment in the year 2021 with a duration of 98 days, when the shoots were established. The shading simulation was done through the levels of the shade nets (0%, 30%, 60% and 80%) and the eutrophication simulation through the concentration of nutrients (S- no addition Control, M- Moderate with 5g of nutrient addition and B- High with 10g of nutrient addition). At the end of the experiment, the plants that developed were extracted, washed, measured, oven dried and weighed. The response variables measured were the number of shoots, height, aerial biomass and root biomass. To answer our objective, the Generalized Linear Model was used to perform the statistical test. Our results showed that for the number of shoots, mean shoot height, root biomass, there was a significant effect on nutrient concentration.. While in aerial biomass there was a significant interaction between treatments (shading and nutrient concentration). In this work, we identified that nutrient concentration plays a very important and significant role in the clonal growth of propagules of the *Urochloa arrecta* species. The information from this study is relevant for the regulation of the invasive potential of the species under study in the aquatic environment to avoid its proliferation and future damages in ecological interactions and to conserve aquatic biodiversity.

Keywords: Biodiversity. Conservation. *Urochloa arrecta*. Aquatic ecosystem. Vegetative reproduction.

SUMÁRIO

| | | |
|------------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 10 |
| 1.1 | Referencial Teórico | 13 |
| 1.1.1 | Conservação da Biodiversidade e as Macrófitas Aquáticas. | 13 |
| 1.1.2 | Invasão Biológica. | 15 |
| 2 | METODOLOGIA | 16 |
| 2.1 | Área de Coleta | 16 |
| 2.2 | Métodos | 16 |
| 3 | ANÁLISE DE DADOS | 20 |
| 4 | RESULTADOS | 20 |
| 4.1 | Números de brotos | 20 |
| 4.2 | Média da altura dos brotos | 22 |
| 4.3 | Biomassa da raiz | 24 |
| 4.4 | Biomassa aérea | 26 |
| 5 | DISCUSSÃO | 27 |
| 6 | CONCLUSÃO | 31 |
| | REFERÊNCIAS | 32 |

1 INTRODUÇÃO

As macrófitas aquáticas são consideradas fundamentais para a manutenção e equilíbrio da diversidade biológica dos ecossistemas aquáticos por desempenharem funções importantes para este meio (THOMAZ et al., 2008). É essencial na cadeia alimentar como produtores primários, juntamente com o fitoplâncton no sistema aquático (ESTEVES, 2011). Também são importantes na produção da biomassa, na estrutura física do solo e no controle de erosão hídrica, são bioindicadoras na qualidade da água (SANTOS; BOINA, 2017).

Uma das estratégias das macrófitas é a propagação de forma vegetativa, na qual, elas vão se dispersando e colonizando através de plantas inteiras, rizomas, estolões, tubérculos, turions ou simples fragmentos que são levados pelas correntes das águas (BARRAT-SEGRETAIN; CELLOT 2007; RIIS et al., 2009). Quando encontram ambientes adequados com oferta de nutrientes e disponibilidade luminosa as macrófitas aquáticas podem se propagar ocupando áreas extensas na superfície aquática (DAVIS et al., 2000; SANTAMARIA, 2002). Devido mostrar alta capacidade de dispersão e colonização de novas áreas, muitas macrófitas têm o potencial de serem espécies invasoras.

A invasão biológica trata-se de um processo complexo referente à introdução de espécie desordenadamente longe de sua área habitual, ou seja, longe de seus limites geográficos ameaçando a diversidade biológica do local que está sendo inserida (DAVIS et al., 2000). Estas invasões biológicas estão relacionadas às condições que se encontra a comunidade receptora, a pressão da propagação da espécie invasora, e aos fatores abióticos e bióticos (EVANGESLISTA et al., 2017). Os ambientes impactados por atividades humanas são mais favoráveis a sofrerem invasões do que os ambientes não impactados (ELTON, 1958). Portanto, mudanças nas condições ambientais podem proporcionar que espécies invasoras venham a se estabelecer com sucesso ou não, utilizando os recursos encontrados de forma eficiente. Isso pode ser a explicação para o sucesso de macrófitas invasoras em habitat que sofreram eutrofização (TEIXEIRA et al., 2016).

As gramíneas são muito invasivas, elas apresentam ampla distribuição e possuem resistência ao estresse (D'ANTONIO; VITOUSEK 1992; MICKINNEY; LOCKWOOD 1999). *Urochloa arrecta* (Hack. Ex T. Durand & Schinz) Morrone & Zuloaga pertence à família Poaceae oriunda da África, foi introduzida por acidente,

acredita-se que sua introdução pode ter ocorrido por duas formas, a primeira para servir de colchão aos escravos nos navios negreiros (CRISPIM; BRANCO, 2002; BARCELOS et al., 2011) e a segunda como pastagem, mas sem sucesso como forrageira, e adaptarem-se muito bem nas variadas condições ambientais brasileiras (ALVIM; BOTREL; XAVIER, 2002). Desde então, essa espécie vem causando grandes problemas em ecossistemas neotropicais (THOMAZ et al., 2009). É uma espécie invasiva que pode formar tapetes grossos com longos ramos flutuantes. Sua propagação pode ser por estolões, rizomas ou qualquer fragmento que pode ser transportada pelo fluxo de água. (POTT et al., 2011; MICHELAN et al., 2017).

A espécie apresenta alto potencial de regeneração (MICHELAN et al., 2010), e pode ser considerada uma espécie agressiva em ambientes aquáticos pela sua regeneração rápida, mesmo com pouca concentração de nutrientes e matéria orgânica (FASOLI et al., 2015). É comumente encontrada em áreas impactadas pelas ações antrópicas, e já se estabeleceu em diversos biomas brasileiros, como a Mata Atlântica, o Cerrado, o Pantanal e na Amazônia Brasileira (POTT et al., 2011; FARES et al., 2020), sendo considerada uma preocupação na conservação dos ambientes aquáticos, uma vez que a sua presença reduz a diversidade taxonômica e funcional das espécies nativas (MICHELAN et al., 2010).

A eutrofização dos ambientes aquáticos também tem sido foco de grande atenção nestas últimas décadas, especialmente pelas intervenções humanas como despejos de esgotos domésticos (como os produtos de limpeza e os excrementos humanos), lixo industriais (na fabricação de produtos com polifosfatados), atividades agrícolas (no uso de fertilização química), permitindo mudanças na quantidade de nutrientes da água. Estas variações podem causar aproximação gradativa de matéria orgânica e o enriquecimento de nutrientes em ecossistemas aquáticos (RAST; THORNTON, 1996). Dentre os fatores que influenciam a eutrofização, além das concentrações de nutrientes como o fósforo e o nitrogênio, pode ser citada a vazão, a profundidade da coluna d'água, a temperatura e a baixa acessibilidade de luz (CARPENTER; LODGE, 1986; SCHEFFER et al., 1993;).

As causas que influenciam para uma eutrofização além da entrada de efluentes domésticos, industriais e agrícolas, são as drenagens superficiais; detergentes biodegradáveis a erosão do solo e os resíduos de mineração. As consequências estão associadas à alteração da qualidade da água, na diminuição na concentração de

oxigênio, a diminuição da transparência da água, a produção de odores desagradáveis na água, a floração de cianobactérias, a mortalidade de peixes, e a proliferação excessiva de macrófitas aquáticas (ESTEVES, 2011; SANTOS; BOINA, 2017). Além disso, e se estiverem associada às boas condições de luminosidade favorecem ainda mais o crescimento excessivo de plantas aquáticas, especialmente de espécies exóticas invasivas (BYERS, 2002; ENGELHARDT, 2011; DAVIS et al., 2000; SANTAMARIA, 2002).

O fator luz também tem suma importância para o desenvolvimento das plantas, seja em ambiente terrestre ou aquático, pois influencia na taxa fotossintética, levando a diferentes respostas dependendo da intensidade luminosa que receberam (FU et al., 2012). É ela que também influencia na produtividade e na funcionalidade vegetal (CAMARGO et al., 2003), e pode determinar os padrões de distribuição de plantas (HUDON, LALONDE, GAGNON, 2000; POORTER, 2001; LARCHER, 2003; VALLDARES; NIINEMETS, 2008; ZHU et al. 2014). No meio aquático, a luz é considerada um dos fatores mais importante que limita no crescimento das macrófitas (BARKO et al., 1986).

As espécies podem responder a mudança na disponibilidade de luz no ambiente por meio de diferentes mecanismos. Algumas espécies têm a capacidade de persistir sob luz de diferentes ambientes por meio de mecanismos fisiológicos, que atuam para melhorar a capacidade fotossintética dos vegetais (TITUS; ADAMS, 1979; BARKO; SMART, 1981; TAVECHIO; THOMAZ, 2003). Podem responder à diminuição dos níveis de luz aumentando as folhas e a concentração de clorofila para elevar sua habilidade fotossintética, o que pode resultar em elevação da produtividade (BARKO; FILBIN, 1983; GOLDSBOROUGH; KEMP, 1988). Ambiente com pouca luz ou com efeitos de sombreamento sobre o crescimento de vegetais podem causar transformações morfológicas, como redução da espessura da folha, aumento da área foliar, alongamento da haste para expor mais o limbo foliar e menor biomassa (SPENCE et al., 1972; TITUS; ADAMS, 1979; BOTTS et al., 1990).

A mata ciliar é considerada uma cobertura vegetal nativa que margeia uma zona de transição entre o ambiente terrestre e o aquático, como os rios, os lagos, as lagoas, os córregos, as nascentes, composta por diversas formações florestais (VOGEL et al., 2009), proporcionando o processo de preservação da diversidade biológica desses ambientes (CASTRO et al., 2017). Ela desenvolve um papel importante na proteção,

conservação e recuperação de fatores bióticos e abióticos dos ambientes ripários (CASTRO et al., 2017). Também oferece funções ambientais e ecológicas que contribui para manter a estabilidade das margens dos rios, fornecimento energético, regulação da temperatura, proporciona sombreamento, diminui a erosão, evita o excesso de nutrientes nos cursos d'água, regula a quantidade de carbono dissolvido, facilita o trânsito da fauna e a troca genética e outros (PASTORE; HEPP, 2021; QUESADA et al., 2017). Por fim, ainda desempenha uma importante ação na filtragem dos resíduos poluentes, pesticidas e sedimentos que são lixiviados das áreas circunvizinhas impedindo a chegada para dentro dos corpos d'água (VOGEL et al., 2009).

Portanto, o objetivo deste estudo foi testar o efeito de diferentes níveis de sombreamento e eutrofização no crescimento de *Urochloa arrecta*. Assim como observar se o sombreamento e a concentração de nutrientes influenciam no número de brotos, na altura, na biomassa aérea e na biomassa da raiz em *U. arrecta*. A hipótese é que ambientes em condições de sombreamento (representando mata ciliar) e níveis naturais de nutrientes (não eutrofizados, sem intervenções humanas), situação que simula um ambiente preservado, serão lugares menos propensos para o desenvolvimento e estabelecimento de espécies invasoras. Por isso em locais com maior sombreamento e menor quantidade de nutrientes os fragmentos de *U. arrecta*, terão menor desenvolvimento de novos brotos (número de brotos, altura, biomassa aérea) e menor chance de estabelecimento (biomassa de raiz).

1.1 Referencial Teórico

1.1.1 Conservação da Biodiversidade e as Macrófitas Aquáticas.

A diversidade biológica vem sofrendo efeitos negativos por meio das ações antrópicas (GANEM, 2010). A biodiversidade representa a riqueza de espécies existentes em diversos locais. Sua conservação é fundamental para a manutenção da vida. Proporciona ao ser humano recursos para infinitos propósitos como econômicos, científicos, culturais e outros. A biodiversidade oferece serviços ecossistêmicos como a fixação do carbono atmosférico, conservação do solo, manutenção da água, fauna e flora; controle de vetores e predadores, que agem na regulação dos fatores climáticos (como temperatura, precipitação das chuvas, umidade e ventos), auxilia na polinização das plantas e dispersão das sementes. Servem de energia e matéria-prima para as

indústrias alimentícias, químicas, farmacêuticas, cosméticas e estudos tecnológicos. Além de ser uma identidade cultural para diversos povos, como também, a base do ecoturismo e turismo rural (GANEM, 2010; FRANÇA et al., 2020).

As macrófitas aquáticas são consideradas plantas vasculares que apresentam atividades fotossintéticas ativas e que ao longo de seu processo evolutivo foram do ambiente terrestre para o ambiente aquático mostrando capacidade adaptativa e amplitude ecológica (ESTEVES, 2011; THOMAZ; ESTEVES, 2011). Esses vegetais apresentam várias formas de vida conforme as diferenças que estão associadas com sua adaptação, a sua distribuição, e a profundidade da água (PIVARI et al., 2008).

As macrófitas aquáticas podem também se organizarem em comunidades com uma variedade numérica de espécies, podendo colonizar ecossistemas completos ou restringir a pequenas regiões (THOMAZ; ESTEVES, 2011). Elas colonizam rapidamente vários tipos de ecossistemas aquáticos como rios, lagos, reservatórios, pântanos, riachos, brejos, cachoeiras, corredeiras, zonas litorâneas, estuários, e outros. Essa colonização é devido a estratégias adaptativas que as macrófitas aquáticas sofreram ao passar dos tempos (THOMAZ; CUNHA, 2010), portanto, indicam uma variabilidade ambiental por responderem a diversos gradientes ambientais (MACÊDO et al., 2012).

As macrófitas são consideradas habitat, berçário, refúgio, e, até mesmo, alimento para muitos organismos (THOMAZ; CUNHA, 2010; BORNETTE - PUIJALON, 2011), como as aves aquáticas, os invertebrados e os peixes (MACÊDO et al., 2012). Isso porque elas apresentam variedade no seu nível de complexidade e diferentes formas de vida ocorrentes ao longo de gradientes de profundidade (PELICICE ; AGOSTINHO, 2006), favorecendo essa interação com as outras comunidades aquáticas.

As macrófitas aquáticas exóticas invasivas podem ocasionar impactos negativos tanto ambientais como econômicos (RICHARDSON; PYSEK, 2008; CUASSOLO et al., 2016), tais como, prejuízos às usinas hidrelétricas devido à obstrução das grades de tomada de água nos reservatórios (THOMAZ, 2002); a contribuição para o assoreamento dos reservatórios (SILVA et al., 2012); o aumento da quantidade de evapotranspiração e redução de trocas gasosas entre o ambiente aquático e a atmosfera, a perda da biodiversidade (WINTON; CLAYTON, 1996); o impedimento das atividades recreativas (como pesca esportiva, esportes aquáticos, recreação, ecoturismo) e, o impedimento à navegação (CARVALHO et al., 2003).

1.1.2 *Invasão Biológica.*

As espécies invasoras recebem diversos sinônimos como “alienígenas”, “aventureiros”, “exóticos”, “neófitos” (se for vegetal), “introduzido”, “não indígena”, “alóctone”, “não nativo”, “transplantada” (VITULE; PRODOCIMO, 2012). No entanto, conforme a zona geográfica de onde vem à espécie, dois termos é utilizada: exótico, para determinar que os organismos sejam de outro país, e transplantado (FULLER et al., 1999) ou alóctone (AGOSTINHO; JÚLIO JR, 1996) que determinam os organismos dentro de seu país de origem (FULLER et al., 1999). As demais terminologias são consideradas sinônimas para definir qualquer tipo de espécie. Adotou-se aqui, o termo espécies exóticas invasivas, pois é um termo mais geral para espécies invasoras.

Quando uma espécie chega a um lugar que não é o seu natural, ela passa por três diferentes situações: Primeira, as que são introduzidas e sobrevivem; Segunda, as que ficam em um local apenas e, por fim, as que se estabelecem e vem a ser invasoras. Na primeira situação, as espécies a serem introduzidas enfrentam barreiras ambientais até encontrar condições adequadas para sua sobrevivência. Após superarem essas barreiras vem o processo de reprodução da população para se estabelecerem. E por fim, para serem invasoras devem ter a capacidade de se dispersarem além de onde foram inseridas (ZILLER; ZALBA, 2007). As invasões por espécies exóticas são uma das principais causas da perda da biodiversidade e da estabilidade do ecossistema (WILCOVE et al., 1998; MACK et al., 2000).

A ecologia de invasões investiga as invasões biológicas que são identificadas por fenômenos que podem caracterizá-los como, um rápido crescimento populacional, o estabelecimento de dominância no local ou por uma rápida dispersão na área de distribuição, diferindo-se tanto das causas quanto dos impactos (GUREVITCH et al., 2011). O processo de invasões, na sua maioria, é ocasionado por impactos das atividades antropogênicas que eliminam barreiras naturais, sejam acidentalmente ou propositalmente, favorecendo a introdução de espécies exóticas invasivas em lugares que antes não habitavam (SIMBERLOFF, 2005).

As espécies exóticas invasivas podem ocasionar efeitos negativos relevantes tanto ao grupo que está inserida como as que estão associadas a elas, especialmente se tratando de macrófitas aquáticas. Elas alteram as condições estruturais do ambiente invadido (THOMAZ & CUNHA, 2010) e tem sido considerada recentemente, o segundo maior motivo de extinção de espécies.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de coleta

As amostras de *U. arrecta* foram coletadas em um lago (Figura 1) na Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), na área de zootecnia, atrás do viveiro de cunicultura (coordenadas 1° 27' 3.73" s; 48° 26' 8.33" w), no município de Belém, Pará, Brasil. Após coleta, as amostras foram levadas para o Laboratório de Ecologia de Produtores Primários (ECOPRO) que fica no Campus da Universidade Federal do Pará (UFPA), também, município de Belém, Pará, Brasil. No laboratório foram cortados os propágulos com dois nós apicais, pois esta região do vegetal possui maior incidência de atividades das células meristemáticas que proporciona o crescimento clonal (RIIS et al., 2009).

Figura 1. Local de coleta de *U. arrecta* utilizada para o experimento na Universidade Federal Rural da Amazônia nas coordenadas 27' 3.73" S; 48° 26' 8.33" W.



Fonte: A autora (2021).

2.2 Métodos

O experimento foi conduzido na Universidade Federal do Pará (UFPA), localizado no município de Belém/PA, Brasil. A montagem das estruturas em forma de cubo foi realizada no laboratório de Ecologia de Produtores Primários (ECOPRO) no

período de 14 a 20 de julho de 2021. Estas estruturas foram levadas para um ambiente de área isolada e descampada localizada atrás do Instituto de Ciências Biológicas (ICB) dentro do Campus da UFPA para o desenvolvimento do projeto, no período de 17 de agosto de 2021 a 22 de novembro de 2021, totalizando 98 dias de duração do experimento, pois neste período, os propágulos mostraram-se enraizados e com crescimento clonal, no qual, foi considerado estabelecido.

O delineamento experimental foi feito em blocos casualizados, sendo os tratamentos constituídos de sombreamento e eutrofização. Para simular o sombreamento (intensidade de luz) foram considerados redes de sombrites (tela preta de polipropileno) (ZHAO et al., 2013; MEDEIROS et al., 2018) com quatro tipos de intensidade luminosa: quatro cubos sem sombrite (controle – luz solar total), quatro cubos com sombrite de 30%, quatro cubos com sombrite de 60% e quatro cubos com sombrite de 80%. As porcentagens dos sombrites apresentavam espessuras de fechamento diferentes. Totalizando dezesseis estruturas, sendo que os blocos foram enumerados de 1 a 16.

As estruturas (cubos) (Figura 2) apresentaram as dimensões de 1m de comprimento por 0,5 m de altura. Foram utilizadas oito varas de madeira de um metro e quatro varas de madeira de 0,5 m para construir um cubo e telado as laterais e em cima com sombrite, conforme a porcentagem de sombreamento de cada um dos tratamentos. Foram fixados sacos plásticos transparentes por cima dos cubos, descendo 20 cm pela lateral para evitar a entrada de água da chuva.

Figura 2. Protótipo da estrutura para simulação do sombreamento 30%.



Fonte: A autora (2021).

Para simular a eutrofização, os tratamentos consistiram de uma combinação de doses de nitrogênio, fósforo e potássio, o NPK (CARDOSO et al. 2011). Foram utilizadas três tipos de concentrações de nutrientes (NPK) sendo elas: o S (Controle – sem adição de nutrientes), o M (concentração moderada de nutrientes – 5 g de NPK) e o B (Alta concentração de nutrientes – 10 g de NPK) (CASTRO et al., 2016). O nutriente foi pesado em balança de precisão e acondicionado em sacos de papel identificados conforme a pesagem (5g ou 10g) para serem colocados nas bandejas juntamente com o sedimento e os propágulos de *U. arrecta* no momento da montagem do experimento na área selecionada. As doses de NPK foram distribuídas conforme a identificação das bandejas (Figura 3 A, B e C), com o número do bloco, a posição da bandeja e o nível da concentração de nutrientes, nesta sequência.

Figura 3. Exemplo da identificação das bandejas: A – Controle (S), B – concentração moderada (M) e C – Alta concentração (B).



Fonte: A autora (2021).

Cada tratamento dos sombrites receberam 12 bandejas que foram posicionadas dentro deles. Estas bandejas tinham a metragem de 14 cm de largura x 23 cm de comprimento x 6 cm de altura e 750 ml de volume. As bandejas receberam três cm de sedimento, e dois cm de água da torneira (a água passava dois cm do sedimento), e uma haste de fragmento de *Urochloa arrecta* de 7 cm com dois nós para dar homogeneidade ao experimento. Foi adotada uma escala de rega diária, para atender a necessidade de água conforme as bandejas fossem apresentando. Utilizamos fragmentos apicais dessa espécie, pois ela tem capacidade de brotar e produzir raízes muito rápido através desses pequenos fragmentos (por exemplo, MICHELAN; THOMAZ; BINI, 2013) (Figura 4 A). As bandejas foram posicionadas por meio de sorteio sob uma base de madeira para isolar o contato com o chão e evitar o aquecimento (Figura 4B). Os cubos com as diferentes intensidades luminosas também foram distribuídos aleatoriamente por meio de sorteio (Figura 4C).

Figura 4. Realização do experimento: A - propágulos nas bandejas; B e C - montagem do experimento.



Fonte: A autora (2021).

O experimento foi verificado semanalmente para analisar o desenvolvimento dos propágulos. Nesse período propágulos germinaram e cresceram, enraizando e formando os brotos. Após o período de 98 dias o experimento foi finalizado e as plantas foram extraídas das bandejas e lavadas para remover os resíduos do sedimento (Figura 5A). Foi mensurado o número de brotos, a altura dos mesmos (somente a parte aérea) com uma régua milimetrada (Figuras 5B). A parte aérea e a radicular foram separadas com um estilete e acondicionadas em sacos de papel identificadas (biomassa da raiz e biomassa aérea, conforme o material ensacado) para organizar a secagem em uma estufa a 60°C (graus Celsius) até o peso constante (Figura 5C) e após secagem, foram pesadas em uma balança de precisão (Figura 5 D). Utilizaram-se os valores médios por ter sido usadas várias bandejas nas estruturas dos tratamentos de sombrite.

Figura 5. Retirada do experimento: A) Limpeza dos indivíduos; B) mensuração de altura ; C) secagem do material para biomassa e D) Pesagem da biomassa.



Fonte: A autora (2021).

3 ANÁLISE DE DADOS

Para testar o efeito do sombreamento (simulado pelos níveis dos sombrites) e eutrofização (simulado pela concentração dos nutrientes – níveis Controle, Moderado e Alta) no desenvolvimento da macrófita *U. arrecta* foi utilizada uma análise do Modelo Linear Generalizado (GLM). O GLM é uma análise adequada para dados que apresentam distribuições de frequências que diferem da normal ou gaussiana (ZUUR et al., 2010).

Os brotos que se desenvolveram dos propágulos foram testados com um GLM com distribuição de Poisson, no qual, a variável resposta tinha resultados de contagens que pediam uma ligação logaritmizada. Quanto ao teste de significância univariada da Média da Altura dos Brotos foi utilizado um GLM com distribuição Gaussiana, cuja variável resposta é contínua com ligação de identidade. Já para as biomassas da raiz e aérea foi empregado um GLM com distribuição Gamma para identificar as diferenças na média dos tratamentos realizados. Essa distribuição é aplicada para variáveis contínuas com valores positivos.

O procedimento das análises estatísticas do GLM foi realizado no software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2019), com a função *glm* do pacote MASS (VENABLES; RIPLEY, 2002). Sendo considerado o nível de significância estabelecido de $p < 0,05$ para todas as análises.

4 RESULTADOS

Após o experimento foi finalizado e no geral a média total de variação do número de brotos foi de 2,01 ($\pm 1,62$ Desvio Padrão – DP), a altura foi de 40,2 cm ($\pm 18,76$ DP), a biomassa da raiz foi de 0,34g ($\pm 0,43$ DP) e a biomassa aérea foi de 0,83g ($\pm 0,97$ DP).

4.1 Número de brotos

A interação entre os níveis de sombreamento e a concentração de nutrientes não influenciaram significativamente no número de brotos da espécie *U. arrecta*. No entanto, a concentração de nutrientes apresentou uma influência significativa no desenvolvimento do número de brotos desta espécie ($X^2 = 25,208$; $p < 0,001$ - Tabela 1).

Para o tamanho de efeito dos parâmetros, mostrou-se uma diferença significativa para a concentração de nutrientes de nível moderado (M) onde apresentou um valor de

efeito positivo (Estimativa= 0,517; $p < 0,001$ - Tabela 2). Esses dados indicam que os propágulos tiveram melhor desenvolvimento de brotação na concentração de nutrientes M do que na ausência de adição de nutrientes (S) (Figura 6).

Tabela 1. Resultados dos Modelos Lineares Generalizados (Distribuição de POISSON) analisando o efeito do sombreamento e concentração de nutrientes sobre o número de brotos.

| Modelos | Graus de liberdade | X² | p |
|-------------------------|---------------------------|----------------------|--------------|
| Intercept | 1 | 47,931 | 0,001 |
| Sombreamento | 3 | 1,069 | 0,784 |
| Nutrientes | 2 | 25,208 | 0,001 |
| Sombreamento*Nutrientes | 6 | 4,902 | 0,556 |

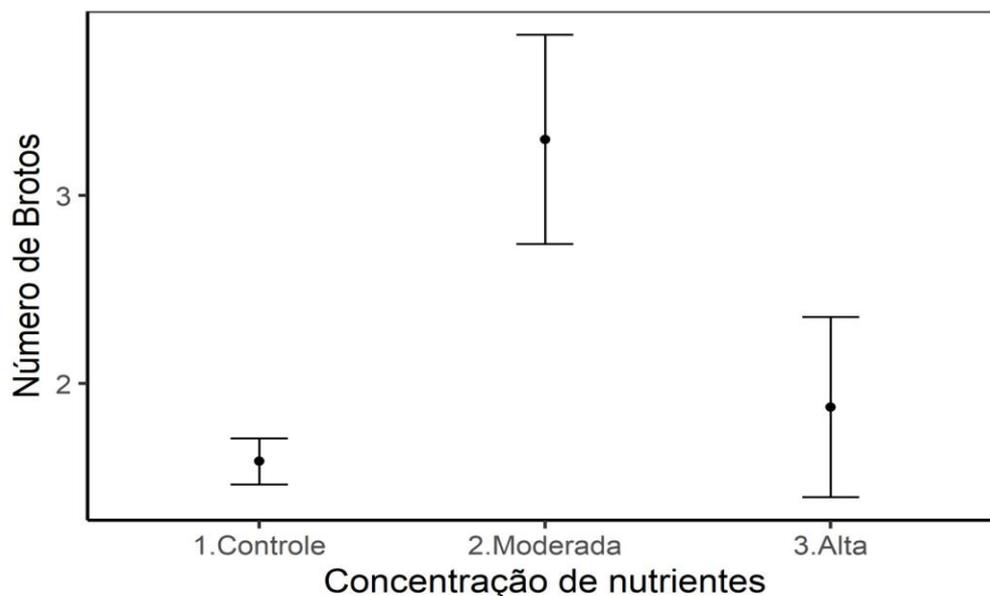
Fonte: Dados inéditos 2022

Tabela 2. Resultado do Tamanho de Efeito dos Parâmetros para cada nível do estudo.

| Modelos | Nível | Estimativa | Padrão | Wald | p |
|-------------------------|--------------|-------------------|---------------|---------------|--------------|
| Intercept | | 0,777 | 0,112 | 47,931 | 0,000 |
| Sombreamento | 0 | 0,140 | 0,173 | 0,661 | 0,416 |
| Sombreamento | 30 | -0,122 | 0,217 | 0,315 | 0,574 |
| Sombreamento | 60 | 0,066 | 0,212 | 0,097 | 0,755 |
| Nutrientes | B | -0,201 | 0,202 | 0,991 | 0,319 |
| Nutrientes | M | 0,517 | 0,135 | 14,610 | 0,001 |
| Sombreamento*Nutrientes | 1 | -0,023 | 0,293 | 0,006 | 0,937 |
| Sombreamento*Nutrientes | 2 | 0,173 | 0,228 | 0,575 | 0,448 |
| Sombreamento*Nutrientes | 3 | -0,453 | 0,398 | 1,293 | 0,255 |
| Sombreamento*Nutrientes | 4 | 0,213 | 0,258 | 0,680 | 0,409 |
| Sombreamento*Nutrientes | 5 | 0,051176 | 0,396276 | 0,016 | 0,897 |
| Sombreamento*Nutrientes | 6 | 0,024836 | 0,240630 | 0,010 | 0,917 |

Fonte: Dados inéditos 2022

Figura 6. Efeito da concentração de Nutrientes sobre o número de brotos; Tratamentos: B – adição de 10g de NPK; M – 5g de NPK e S – sem adição de NPK.



Fonte: Dados inéditos 2022

4.2 Média da altura dos brotos

Estatisticamente, nenhuma diferença significativa foi observada na interação entre os tratamentos de sombreamento e a concentração de nutrientes da média da altura dos brotos desenvolvidos de *U. arrecta*. Mas, houve efeito significativo na altura nos tratamentos de concentração de nutrientes ($F= 7,942$; $p < 0,001$ - Tabela 3).

Os resultados mostraram que, o tratamento com maior enriquecimento em nutrientes (B) apresentou a menor altura em relação à ausência de adição de nutrientes (S), essa diferença foi significativa (Tabela 4, Figura 7). Esses resultados mostram que o tratamento sem adicionamento de nutrientes NPK foi mais importante do que o enriquecimento dos nutrientes para a média da altura dos brotos de *U. arrecta*.

Tabela 3. Resultados dos Modelos Lineares Generalizados (Distribuição de Gaussiana - Teste de significância Univariada) analisando o efeito do sombreamento e concentração de nutrientes sobre a altura de *U. arrecta*.

| Modelos | SS | Graus de liberdade | MS | F | p |
|-------------------------|----------------|---------------------------|----------------|--------------|--------------|
| Intercept | 30832,08 | 1 | 30832,08 | 166,160 | 0,000 |
| Sombreamento | 747,02 | 3 | 249,01 | 1,341 | 0,267 |
| Nutrientes | 2947,59 | 2 | 1473,79 | 7,942 | 0,001 |
| Sombreamento*Nutrientes | 618,79 | 6 | 103,13 | 0,555 | 0,763 |
| Erro | 13731,14 | 74 | 185,56 | | |

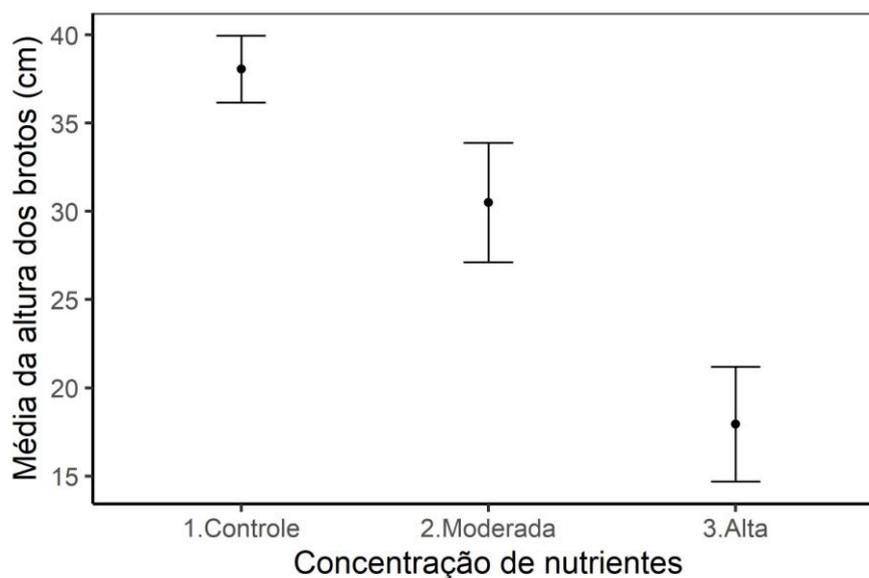
Fonte: Dados inéditos 2022

Tabela 4. Resultado do Teste a posteriori de Tukey.

| Nutrientes | B | M | S |
|-------------------|------------------|----------|------------------|
| B | - | 0,077 | <0,001 |
| M | 0,077 | - | 0,088 |
| S | <0,001 | 0,088 | - |

Fonte: Dados inéditos 2022

Figura 7. Efeito da concentração de nutrientes sobre a altura dos brotos de *U. arrecta*; Tratamentos: B – adição de 10g de NPK; M – 5g de NPK e S – sem adição de NPK.



Fonte: Dados inéditos 2022

4.3 Biomassa da raiz

Para a biomassa da raiz, os resultados mostraram que não houve diferença significativa entre a interação dos tratamentos de sombrite e a concentração de nutrientes sobre essa variável. Porém, a análise estatística mostrou que a concentração de nutrientes obteve diferença significativa da biomassa da raiz ($X^2 = 8,065$; $p = 0,017$ - Tabela 5). O tamanho do efeito dos parâmetros, locais com maior adição de nutrientes (B) apresentou um valor de efeito negativo com locais sem adição de nutrientes, enquanto que, a adição moderada de nutrientes (M) teve um valor de efeito positivo (Estimativa = - 0,974; $p < 0,001$ e Estimativa = 0,825; $p < 0,001$, respectivamente - Tabela 6). Esses resultados indicam que a produção de biomassa da raiz foi mais relevante no tratamento da concentração de nutrientes moderadas do que nas demais concentrações (Figura 8).

Tabela 5. Resultados dos Modelos Lineares Generalizados (Distribuição de Gamma) analisando o efeito do sombreamento e concentração de nutrientes sobre a biomassa da raiz de *U. arrecta*.

| Modelo | Graus de liberdade | Log- | X² | p |
|-------------------------|---------------------------|---------------|----------------------|--------------|
| Intercept | 1 | 5,432 | | |
| Sombreamento | 3 | 9,203 | 7,543 | 0,056 |
| Nutrientes | 2 | 13,236 | 8,065 | 0,017 |
| Sombreamento*Nutrientes | 6 | 18,998 | 11,523 | 0,073 |

Fonte: Dados inéditos 2022

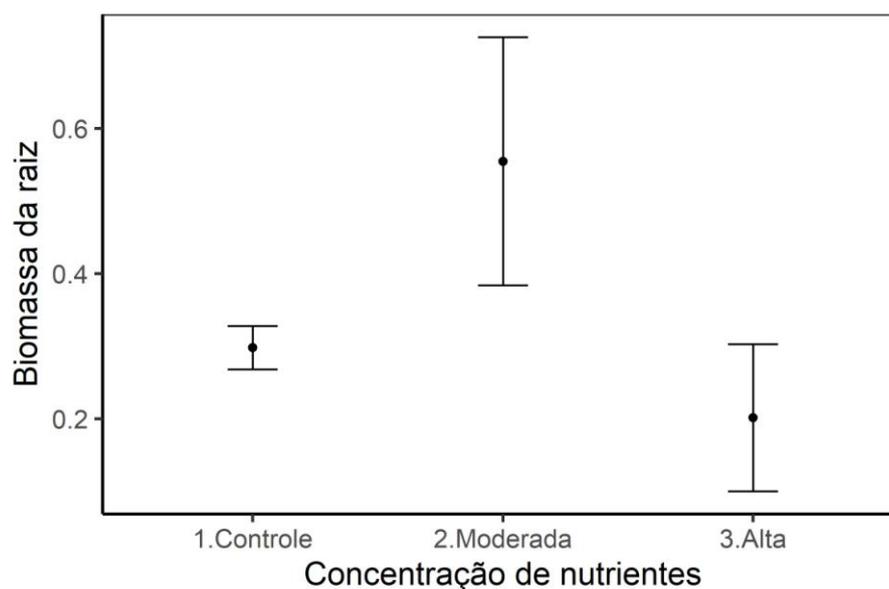
Tabela 6. Resultado do Tamanho de Efeito dos Parâmetros para cada nível do estudo.

| Modelos | Nível | Estimativa | Padrão | Wald | p |
|-------------------------|----------|---------------|--------------|---------------|--------------|
| Intercept | | -1,377 | 0,154 | 79,352 | 0,000 |
| Sombreamento | 0 | 0,891 | 0,265 | 11,283 | 0,001 |
| Sombreamento | 30 | -0,265 | 0,265 | 1,001 | 0,316 |
| Sombreamento | 60 | -0,457 | 0,295 | 2,386 | 0,122 |
| Nutrientes | B | -0,974 | 0,262 | 13,766 | 0,001 |
| Nutrientes | M | 0,825 | 0,212 | 15,012 | 0,001 |
| Sombreamento*Nutrientes | 1 | 0,451 | 0,408 | 1,221 | 0,268 |
| Sombreamento*Nutrientes | 2 | 0,103 | 0,411 | 0,063 | 0,800 |
| Sombreamento*Nutrientes | 3 | -0,273 | 0,438 | 0,388 | 0,533 |
| Sombreamento*Nutrientes | 4 | -0,035 | 0,378 | 0,008 | 0,924 |
| Sombreamento*Nutrientes | 5 | -1,053 | 0,535 | 3,870 | 0,049 |
| Sombreamento*Nutrientes | 6 | 0,801 | 0,367 | 4,761 | 0,029 |
| Scale | | 1,080 | 0,145 | 54,721 | 0,000 |

Fonte: Dados inéditos 2022

Figura 8. Resultado da adição de nutrientes e a biomassa da raiz de *U. arrecta*. Tratamentos:

B – adição de 10g de NPK; M – 5g de NPK e S – sem adição de NPK.



Fonte: Dados inéditos 2022

4.4 Biomassa aérea

Já para a biomassa aérea de *U. arrecta*, houve um efeito significativo entre a interação dos níveis de sombreamento e a concentração de nutrientes ($X^2 = 20,929$; $p < 0,001$ - Tabela 7). Para o tamanho de efeito dos parâmetros, houve uma diferença positiva e significativa para esta interação, de locais com moderada adição de Nutrientes e ausência de sombreamento com locais com adição de 10g de nutrientes e 80% de sombreamento sobre a biomassa aérea da planta invasora (Estimativa= 0,787; $p = 0,02$) (Tabela 8). Ou seja, locais em pleno sol e com moderada concentração de nutrientes apresentou maior biomassa aérea (Figura 9).

Tabela 7. Resultados dos Modelos Lineares Generalizados (Distribuição de Gamma) analisando o efeito do sombreamento e concentração de nutrientes sobre a biomassa aérea de *U. arrecta*.

| Modelos | Graus de Liberdade | Log- | X ² | p |
|--------------------------------|--------------------|----------------|----------------|--------------|
| Sombreamento | 3 | -60,474 | 10,329 | 0,015 |
| Nutrientes | 2 | -59,857 | 9,096 | 0,010 |
| Sombreamento*Nutrientes | 6 | -65,774 | 20,929 | 0,001 |

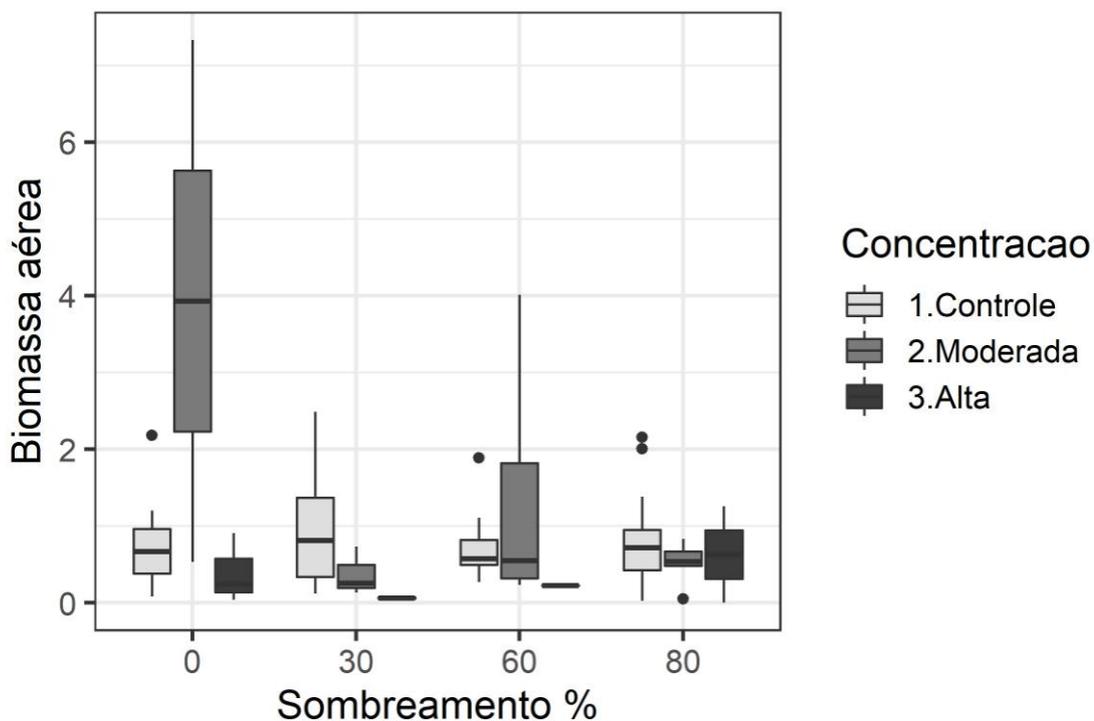
Fonte: Dados inéditos 2022

Tabela 8. Resultado do Tamanho de Efeito dos Parâmetros para cada nível do estudo.

| Modelos | Nível | Estimativa | Padrão | Wald | p |
|--------------------------------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Intercept | | -0,538 | 0,134 | 16,110 | 0,001 |
| Sombreamento | 0 | 0,589 | 0,230 | 6,538 | 0,010 |
| Sombreamento | 30 | -0,709 | 0,230 | 9,495 | 0,002 |
| Sombreamento | 60 | 0,022 | 0,256 | 0,007 | 0,928 |
| Nutrientes | B | -0,858 | 0,227 | 14,179 | 0,0001 |
| Nutrientes | M | 0,531 | 0,184 | 8,258 | 0,004 |
| Sombreamento*Nutrientes | 1 | -0,114 | 0,354 | 0,104 | 0,746 |
| Sombreamento*Nutrientes | 2 | 0,787 | 0,356 | 4,865 | 0,027 |
| Sombreamento*Nutrientes | 3 | -0,626 | 0,380 | 2,706 | 0,099 |
| Sombreamento*Nutrientes | 4 | -0,265 | 0,328 | 0,650 | 0,419 |
| Sombreamento*Nutrientes | 5 | -0,095 | 0,464 | 0,042 | 0,836 |
| Sombreamento*Nutrientes | 6 | 0,249 | 0,318 | 0,613 | 0,433 |
| Scale | | 1,434 | 0,198 | 52,239 | 0,000 |

Fonte: Dados inéditos 2022

Figura 9. Resultado do efeito da interação entre o sombreamento e a concentração de nutrientes sobre a biomassa aérea de *U. arrecta*. Tratamentos dos sobrites: 0% - controle ; 30%; 60%, 80% e Tratamentos da concentração de nutrientes: B – adição de 10g de NPK; M – 5g de NPK e S – sem adição de NPK.



Fonte: Dados inéditos 2022

5 DISCUSSÃO

Nossos resultados mostraram que o desenvolvimento dos propágulos da macrófita aquática exótica invasiva *Urochloa arrecta*, respondeu significativamente para a adição de forma moderada de nutrientes. Porém, nossa hipótese de que a interação entre sombreamento e nutrientes afetam o desenvolvimento da espécie invasora não foi totalmente corroborada, visto que somente para a biomassa aérea a interação foi significativa. No geral, a adição de 5g de NPK, afetou positivamente número de brotos, a biomassa da raiz e aérea de *U. arrecta*, mostrando ser um fator importante e que precisa ser avaliado quando estudamos essa espécie.

A reprodução de forma vegetativa é comum na família Poaceae e nas macrófitas aquáticas, portanto, é comum também para a espécie exótica invasiva *Urochloa arrecta*, (BENSON; HARTNETT, 2006; OTT; HARTNETT, 2011; KELLOGG, 2015). A reprodução vegetativa resulta num acúmulo e abastecimento de nutrientes nos caules dos vegetais de efeito direto (CHAPIN III et al., 1990), proporcionando novos brotos.

Dessa maneira as reservas nutritivas de *U. arrecta* são fundamentais para a reprodução assexuada desta espécie exótica invasiva para se estabelecer com sucesso no meio aquático. Na formação dos novos brotos, identificamos um maior número de brotos em locais com adição de 5g de nutrientes quando comparamos com local sem adição. Essa resposta do crescimento clonal dos brotos da espécie de *U. arrecta* contribuiu para explicar o seu comportamento invasivo em locais impactados pelas ações humanas nos ambientes aquáticos.

O efeito em *U. arrecta* da adição moderada de nutrientes (M) foi superior ao nível de sem adição de nutrientes (S) tanto no número de brotos quanto para a biomassa da raiz. Isso mostra que em adições moderadas de nutriente afeta positivamente a *U. arrecta*. Sugere-se que, se a chegada de nutrientes moderada (intermediária) for frequente em um ambiente aquático, por exemplo, a riqueza de espécie local, pode diminuir por não serem espécies tolerantes a essa exposição de concentração de nutrientes (distúrbio) (CONNEL, 1978). Dessa forma, espera-se que as espécies dominantes podem ocupar os recursos e eliminar as espécies locais (CONNEL, 1978) e causar uma perda da biodiversidade local, como pode acontecer com o estabelecimento de *U. arrecta*. Esse entendimento é de suma importância na ecologia, já que, visa a conservação da biodiversidade.

Na altura média dos brotos foi observado que os mesmos tiveram um desenvolvimento na altura considerada nas amostras que não houve o adicionamento de nutrientes (nível S) em relação aos que tiveram maior adição de nutrientes (nível B). No geral, as plantas são dependentes da quantidade de nutrientes que são ofertadas a elas (RUSSEL; RUSSEL, 1973; RAIJ, 1981), mas nesse caso, apesar dessa maior altura dos indivíduos em locais sem adição de nutriente, eles não diferiram em biomassa, mostrando a grande plasticidade que *U. arrecta* pode apresentar.

A biomassa da raiz também foi maior nos tratamentos que não houveram adicionamento de nutrientes (nível S) do que as com alta adição de nutrientes (nível B). Portanto, a planta que está inserida num ambiente com alta concentração pode não necessitar desenvolver muita biomassa de raiz, pois qualquer raiz pode desempenhar essa função, e a planta terá recurso suficiente para sua sobrevivência. Já em um ambiente com menor ou moderada quantidade de nutrientes, a planta buscará obter formação de maior biomassa de raiz para ampliar sua área de contato e fazer retirada suficiente para sua sobrevivência. Um dos papéis fundamentais dos nutrientes é induzir

a formação de raízes adventícias, apresentando respostas diferenciadas conforme a concentração que recebe (SCHWAMBACH et al., 2005). Embora haja uma ligação entre a concentração de nutrientes com o desenvolvimento das plantas, são poucas informações sobre os efeitos diretos de nutrientes (quantidades específicas necessárias para o indivíduo) no processo de crescimento, enraizamento, desenvolvimento de propágulos e floração de *U. arrecta* e mais informações sobre isso são necessárias.

No geral, em nosso estudo, os resultados apresentaram que o desenvolvimento dos propágulos não dependeu prioritariamente do sombreamento, ou seja, se os propágulos eram expostos diretamente ao sol ou não, mas da disposição dos nutrientes para eles. Apesar de trabalhos já terem identificado a importância do sombreamento para o desenvolvimento de *U. arrecta* (EVANGELISTA et al., 2017), é possível que o efeito da adição do nutriente tenha sido mais importante nesse estágio de desenvolvimento da espécie e por isso o efeito não foi identificado tão claramente. Somente quando analisamos a biomassa de *U. arrecta* é possível identificar seu efeito.

Em nosso estudo, o sombreamento apresentou efeito direto apenas, na biomassa aérea, onde a biomassa foi maior no nível 0% do que a 80%. Apesar das plantas apresentarem alturas semelhantes (não significativas), as espessuras de seus caules diferiram possivelmente por serem mais densos pela possível armazenagem de nutrientes em suas hastes para a formação de novos indivíduos. A luz é um dos principais fatores abióticos de fonte primária que influencia para o crescimento e desenvolvimento da planta (CAMPOS; UCHIDA, 2002; LAMBERS et al., 2008). Não apenas para produzir energia fotossintética, mas para a regulação completa do vegetal (TAIZ; ZEIGER, 2004). E cada espécie em seu habitat procura se adaptar conforme as condições luminosas que encontram (LIMA et. al., 2008).

A luz pode ser um fator limitante ao crescimento das espécies. Por isso, qualquer modificação luminosa implica a diferentes respostas nas estruturas morfológicas e anatômicas (CARVALHO et al., 2006). Taiz e Zeiger (2004), afirmam que as plantas alongam a haste em resposta ao sombreamento que sofrem, evitando a redução de luminosidade. Este é um processo de estiolamento que as plantas usam nas condições estressantes encontradas no meio inserido, numa forma de adquirir habilidades adaptativas e suprir a deficiência da luz (LARCHER, 2000; RAVEN, et al., 2001; PERI et al., 2007;). Segundo Dousseau et al., (2007) essa adaptação está relacionada com a capacidade e rapidez que os padrões de alocação de biomassa e o comportamento

fisiológico vão se ajustando. Portanto, o nível de sombreamento simulado neste experimento sob os brotos formados se alocaram mais na biomassa aérea quando foram expostas a pleno sol.

Mas foi a interação de sombra e adição de nutrientes moderada o resultado mais importante para essa variável, visto que locais em pleno sol e com moderada adição de nutrientes apresentou maior biomassa aérea. Isso enfatiza que locais alterados (sem mata ciliar e com mais nutrientes), podem sim favorecer o desenvolvimento dessa espécie exótica.

Uma das principais ameaças ao ambiente aquático são as atividades antrópicas (RAMÍREZ et al., 2009). Áreas urbanizadas apresentam degradação nos ambientes aquáticos por proporcionar enriquecimento de nutrientes nos corpos d'água (principalmente nitrogênio e fósforo) que são despejados de forma irregular em lagos e rios por meio de esgoto doméstico e industrial (SILVEIRA, 2006). Outra atividade relevante a considerar nas atividades humanas é a prática da agricultura que impacta a biodiversidade de grande amplitude, através da descarga de fertilizantes aplicado nas lavouras. Uma parte desses nutrientes, são absorvidos pelos vegetais e outra, é exposta no ambiente, que posteriormente serão lixiviados para os ecossistemas aquáticos lênticos (lagos, represas) e lóticos (rios, riachos) causando a desestruturação das comunidades aquáticas (SILVEIRA, 2006).

Já a retirada da cobertura vegetal ciliar causa erosão nas margens dos rios e assoreamento nos mesmos (WALSH et al., 2005). Com os impactos antrópicos pode haver um processo em cadeia, devido às alterações ocorridas nas comunidades aquáticas (ROSEMBERG; RESH, 1993), podendo ocorrer à redução na riqueza de espécies, eliminando populações sensíveis a essas alterações ambientais e aumentando a população das que são tolerantes à poluição (COUCEIRO et al., 2007) e favorecer também o estabelecimento de espécies exóticas, como a estudada nesse trabalho. Portanto, se um local com mata ciliar degradada e essa concentração de nutrientes for direcionada a um ambiente aquático e que tenha a presença de *U. arrecta* ela possivelmente, irá se favorecer e se desenvolver com mais facilidade por encontrar condições ambientais favoráveis, e dominar o local onde está inserida. Estas informações são preocupantes na preservação das espécies nativas.

Por fim, é importante falar dos resultados secundários gerados nesse trabalho. O manejo mecânico das macrófitas tem sido relevante metodologia praticada nos

ambientes aquáticos brasileiros. Este processo proporciona elevada quantidade de produto vegetal que busca ter uma finalidade adequada. De fato, é de suma importância o controle e o descarte adequado e evitar danos para o ambiente terrestre e aquático por meio das plantas aquáticas (JACKSON, 1998), mas esse método pode gerar uma grande produção de propágulos das plantas. Importante falar que nossos resultados constatarem que, a reprodução de forma vegetativa dos fragmentos da macrófita *Urochloa arrecta* foi eficiente, assim como em outros trabalhos que utilizaram pequenos fragmentos dessa planta em outras diferentes situações (MICHELAN et al., 2010; FASOLI et al., 2015; EVANGELISTA et al., 2017).

Isso reforça a preocupação para os ambientes aquáticos, mesmo porque se trata de uma espécie exótica invasiva que pode se expandir ao encontrar condições favoráveis de nutrientes disponíveis no solo, conforme a simulação de nosso experimento. Com base nisso, é possível considerar inviável o manejo mecanizado empregado para esta espécie de macrófita, pois ele pode ocasionar liberação de propágulos que podem ser transportados através do percurso da água e assim, dispersar para vários ambientes aquáticos com condições de nutrientes adequados e favorecer o crescimento clonal e estabelecimento da espécie invasiva, implicando sérios danos para o ecossistema aquático. Então, a conservação das macrófitas aquáticas nativas tem sido considerada um desafio e uma necessidade para a manutenção desses ambientes (THOMAZ, 2021). Como foi visto neste estudo, sugere-se que favorecendo o não enriquecimento de nutrientes e mais sombreamento nos ambientes aquáticos, possivelmente haverá uma redução das espécies exóticas invasivas. Mas para isso, é preciso reduzir as ações dos impactos antrópicos nos ecossistemas aquáticos.

6 CONCLUSÃO

Os resultados que obtemos por meio deste estudo experimental nos proporcionou um conhecimento de suma importância a respeito da concentração de nutrientes como um fator determinante para o desenvolvimento da espécie invasora *Urochloa arrecta*, oriundos de seus propágulos. Assim, futuros estudos que investiguem o crescimento e o estabelecimento da espécie exótica invasiva *U. arrecta* (in situ ou experimentalmente) deve-se levar esse fator em consideração. Visto que ele pode ser um regulador do potencial de invasão da espécie em estudo nos ambientes aquáticos, isso se não tivermos entrada externa de nutrientes no ambiente aquáticos.

As invasões biológicas podem prejudicar as interações ecológicas de populações e de comunidades nativas afetando negativamente a biodiversidade. Portanto, quanto menos impactos antrópicos forem proporcionados, menor a probabilidade de estabelecimento e sucesso de espécies invasoras. Assim como, preservar a mata ciliar pela sua importância de proporcionar qualidade de vida a biota aquática. Resultados desse tipo ajudarão a entender como *U. arrecta* pode se comportar em diferentes ecossistemas aquáticos e assim ajudar na criação de novas estratégias para evitar a sua propagação e conservar a biodiversidade aquática.

REFERÊNCIAS

AGOSTINHO A. A.; JULIO H. F. JR. Ameaça ecológica: peixes de outras águas. *Ciência Hoje* 21: 36-44, 1996.

ALVIM, M. J.; BOTREL, M. D. A.; XAVIER, D. F. As principais espécies de *Brachiaria* utilizadas no País. **Comunicado Técnico Embrapa**, n. 22, p. 3–6, 2002.

BARCELOS, A. F.; LIMA, J. A.; PEREIRA, J. P.; GUIMARÃES, P. T. G.; EVANGELISTA, A. R.; GONÇALVES, C. C. M. Adubação de capins do gênero *Brachiaria*. Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – **EPAMIG**: Belo Horizonte, 2011.

BARKO, J. W.; SMART, R. M. Comparative influences of light and temperature on the growth and metabolism of selected submersed freshwater macrophytes. *Ecological Monographs* 51: 219–235, 1981.

BARKO, J. W.; FILBIN, G. J. Influences of light and temperature on chlorophyll composition in submerged freshwater macrophytes. *Aquatic Botany* 15: 249–255, 1983.

BARKO, J. W.; ADAMS, M.S.; CLESER, N. L. Environmental factors and their consideration in the management of submersed aquatic vegetation: a review. *Journal of Aquatic Plant Management*, 24, 1–10, 1986.

BARRAT-SEGRETAIN, M. H.; CELLOT, B. Response of invasive macrophyte species to drawdown: The case of *Elodea sp.* *Aquatic Botany*, 87(4), 255-261, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.06.009>

BENSON, E. J.; HARTNETT, D. C. The role of seed and vegetative reproduction in plant recruitment and demography in tall grass prairie. *Plant Ecology*, 187:163–177, 2006.

BYES, J. E. Impact of non-indigenous species on natives enhanced by anthropogenic alteration of selection regimes. *Oikos*, 97: 449-458, 2002.

BORNETTE, G.; PUIJALON, S. Response of aquatic plants to abiotic factors: a review. *Aquatic Sciences*, 73:1–14, 2011. doi:10.1007/s00027-010-0162-7

BOTTS, P. S., J. M.; LAWRENCE, B. W.; WITZ; KOVACH, C. W. Plasticity in morphology, proximate composition and energy content of *Hygrophila polysperma* (Roxb.) Anders. *Aquatic Botany*, 36: 207–214, 1990.

CARDOSO, E. A.; COSTA, J. T. A.; SOARES, I.; SILVA, R. M.; MARACAJÁ, P. B. Produtividade da Goiabeira ‘Paluma’ em Função da Adubação Mineral. *Revista Verde* (Mossoró – RN – Brasil), v.6, n.2, p. 149 – 153, 2011.

CAMARGO, A. F. M.; HENRY-SILVA, G. G.; PEZZATO, M. M. Crescimento e produção o primária de macrófitas aquáticas em zonas litorâneas. In ‘Ecótonos nas Interfaces dos Ecossistemas Aquáticos’. (Ed. R Henry) pp. 213–232. (Fundibio/Rima: São Carlos, São Paulo, Brazil), 2003.

CAMPOS, M. A. A.; UCHIDA, T. Influência do sombreamento no crescimento de mudas de três espécies amazônicas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37 (3): 281-288, 2002.

CARPENTER, S. R.; LODGE, D. M. Effects of submersed macrophytes on ecosystem processes. *Aquatic Botany*, v. 26, p. 341-370, 1986.

CARVALHO, F. T.; GALO, M. L. B. T.; VELINI, E. D.; MARTINS, D. Plantas aquáticas e nível de infestação das espécies presentes no reservatório de Barra Bonita, no rio Tietê. *Planta Daninha*, Campinas, v. 21 ed. esp., p. 15-19, 2003.

CARVALHO, N. O. S.; PELACANI, C. R.; RODRIGUES, M. O. S.; CREPALDI, I. C. Crescimento inicial de plantas de licuri (*Syagrus coronata* (MART.) BECC.) em diferentes níveis de luminosidade. *Revista Árvore*, v. 30, n.3, p.351-357, 2006.

CASTRO, C. S.; LOBO, U. G. M.; RODRIGUES, L. M.; BACKES, C.; SANTOS, A. J. M. Eficiência de utilização de adubação orgânica em forrageiras tropicais. *Revista de Agricultura Neotropical*, Cassilândia-MS, v. 3, n. 4, p. 48-54, 2016.

CASTRO, J. L. S.; FERNANDES, L. S.; FERREIRA, K. E. J.; TAVARES, M. S. A.; ANDRADE, J. B. L. Mata ciliar: Importância e Funcionamento. *IBEAS* – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais. Campo Grande-MS, 2017.

CHAPIN III, F. S.; SCHULZE, E. D.; MOONEY, H. A. The ecology and economics of storage in plants. *Annu Rev Ecol Syst*, 21:423–447, 1990.

CONNEL, J. H. Diversity in tropical rain forest and coral reefs – high diversity of trees and corals is maintained only in a non-equilibrium state. *Science* 199: 1302-1310, 1978.

COUCEIRO, S. R.; HAMADA, N.; LUZ, S. L.; FORSBERG, B. R.; PIMENTEL, T. P. Deforestation and sewage effects on aquatic macroinvertebrates in urban streams in Manaus, Amazonas, Brazil. *Hydrobiologia*, 575: 271-284, 2007.

- CRISPIM, S. M. A., BRANCO, O. D. Aspectos Gerais das Braquiárias e suas Características na SubRegião da Nhecolândia, Pantanal, MS. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, Corumbá: Embrapa Pantanal*, n. 33, p. 25, 2002.
- CUASSOLO, F.; NAVARRO, M. B.; BALSEIRO, E.; MODENUTTI, B. Effect of light on particulate and dissolved organic matter production of native and exotic macrophyte species in Patagonia. *Hydrobiologia*, 766: 29–42, 2016.
- D'ANTONIO, C. M.; VITOUSEK, P. M. Biological invasions by exotic grasses, the grass/fire cycle, and global change. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 23: 63-87, 1992.
- DAVIS, M. A.; GRIME, J. P.; THOMPSON, K. Fluctuating resources in plant communities: a general theory of invisibility. *Journal of Ecology*, 88: 528-534, 2000.
- DOUSSEAU, S.; ALVARENGA, A. A.; SANTOS, M. O.; ARANTES, L. O. Influência de diferentes condições de sombreamento sobre o crescimento de *Tapirira guianensis* Alb. *Revista Brasileira de Biociências*. Porto Alegre, v.5, n.2, p.477-479, 2007.
- ELTON, C. S. The ecology of invasions by animals and plants. Methuen, London 196 p. **The University of Chicago Press**, Chicago, 1958.
- ENGELHARDT, K. A. M. **Eutrophication, aquatic**. In: Encyclopedia of biological invasions. Simberloff D. e Rejmánek M. (eds) pp. 209-212. University of California Press, US, 2011.
- ESTEVE, F. A. (Coordenador). **Fundamentos de Limnologia**. 3ª Ed.-Rio de Janeiro: Interciência, 2011.
- EVANGELISTA, H. B.; MICHELAN, T. S.; GOMES, L. C.; THOMAZ, S. M. Shade provided by riparian plants and biotic resistance by macrophytes reduce the establishment of an invasive Poaceae. *Journal of Applied Ecology*, 54,648–656, 2017. doi: 10.1111/1365.12791.
- FARES, A. L. B.; CALVÃO, L. B.; TORRES, N. R.; GURGEL, E. S. C.; MICHELAN, T. S. Environmental factors affect macrophyte diversity on Amazonian aquatic ecosystems inserted in an anthropogenic landscape. *Ecological Indicators*, 113: 1-9, 2020.
- FASOLI, J. V. B.; MICHELAN, T. S.; THOMAZ, S. M. Sediment composition mediates the invasibility of aquatic ecosystems by a non-native Poaceae species. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 27 (2), 165-170, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S2179-975X5214>
- 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*, 27, 1087–1094, 2012. doi:10.1007/s11284-012-0991-z.

FULLER, P.L.; NICO, L. G.; WILLIAMS, J. D. Nonindigenous Fishes Introduced into Inland Waters of the United States. Special Publication 27. *American Fisheries Society*, Bethesda, MD, EEUU. 613 pp, 1999.

FRANÇA, A. C.; SILVA, R. G.; MATRICARDI, E. A. T.; SAMPAIO, A. B.; GUIMARÃES, T. C. S. Susceptibilidade à invasão das Unidades de Conservação federais por espécies exóticas invasoras da flora terrestre. *ACSA*, Patos-PB, v.16, n.2, p.126-133, ISSN: 1808-6845, 2020.

GANEM, R. S. Conservação da Biodiversidade: legislação e políticas públicas. Brasília: Câmara dos Deputados, *Edições Câmara*, 437 p. (Série memória e análise de leis; n.2), 2010.

GOLDSBOROUGH, W. J.; KEMP, W. M. Light responses of a submerged macrophyte: implications for survival in turbid tidal waters. *Ecology*, 69: 1775–1786, 1988.

GUREVITCH, J.; FOX, G. A.; WARDLE, G. M.; INDERJIT, T. D. Emergent insights from the synthesis of conceptual frameworks for biological invasions. *Ecology Letters*, 14, 407–418, 2011.

HUDON, C.; LALONDE, S.; GAGNON, P. Ranking the effects of site exposure, plant growth form, water depth, and transparency on aquatic plant biomass. *Can J Fish Aquatic Sciences*, (Suppl 1): 31–42, 2000.

JACKSON, L. J. Paradigms of metal accumulation in rooted aquatic vascular plants. *Science of the Total Environment*, V. 219, p. 223-231, 1998.

KELLOGG, E. A. Flowering Plants. Monocots: Poaceae. **Springer International Publishing Switzerland**, 2015.

LAMBERS, H.; CHAPIN III, S. T.; PONS, T. J. Plant Physiological Ecology. New York: **Springer-Verlag**, 540p, 2008.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Tradução de C.H.B.A. Prado. São Carlos: Rima, 532p, 2000.

LARCHER, W. Ecologia de Plantas Fisiológicas: Ecofisiologia e Fisiologia do Estresse de grupos funcionais. 4ª Edição, **Springer**, Nova York, 513, 2003. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-05214-3>

LIMA, J. D.; SILVA, R. M. S.; MORAES, W. S.; DANTAS, V. A. V.; ALMEIDA, C. C. Efeitos da luminosidade no crescimento de mudas de *Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. (Leguminosae, Caesalpinioideae). São Paulo. Vol. 38 (1) 5-10, 2008.

MACEDO, M. M.; SOUZA, C. S.; MEDEIROS, L. C.; COSTA, D. F. S.; ROCHA, R. M. Macrófitas aquáticas como indicadoras do status de conservação dos reservatórios no seminário do Brasil – estudo de caso no açude Itans (Caicó- RN). *Revista de Biologia e Ciências da Terra*. Volume 12. Número 1, 2012.

MACK, R. N.; SIMBERLOFF, D.; LONSDALE, W. M.; HARRY, E.; CLOUT, M.; BAZZAZ, F. A. Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecol Applic*, 10: 689–711, 2000.

MEDEIROS, J. C. C.; SILVA, J. C. F.; RESENDE, T. S. C.; TEODORO, G. S.; PEREIRA, F. J. . Ramet versus sporocarp production in the aquatic fern *Salvinia auriculata* (Salviniaceae): the role of shading. *Australian Journal of Botany*, v. 66, p. 583-588, 2018.

MICHELAN, T. S.; THOMAZ, S. M.; CARVALHO, P.; RODRIGUES, R. B.; SILVEIRA, M. J. Regeneration and colonization of an invasive macrophyte grass in response to desiccation. *Nat & Conserv*, 8: 133–139, 2010.

MICHELAN, T. S., THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. Native macrophyte density and richness affect the invasiveness of a tropical Poaceae species. *PLoS ONE*, v. 8, n 3, p e60004, 2013.

MICHELAN, T. S.; DAINEZ FILHO, M. S.; THOMAZ, S. M. Aquatic macrophyte mats as dispersers of invasive plant species. *Brazilian Journal of Biology*, 26: 1678-4375, 2017.

MICKINNEY, M. L.; LOCKWOOD, J. L. Biotic homogenization: a few winners replacing many losers in the next mass extinction. *Trends in Ecology & Evolution*, 14: 450–453, 1999.

OTT, J. P.; HARTNETT, D. C. Bud production and dynamics of flowering and vegetative tillers in *Andropogon gerardii* (Poaceae): the role of developmental constraints. *American Journal of Botany*, 98, 1293–1298, 2011.

PASTORE, B.; HEPP, L. A importância da vegetação ripária para o funcionamento de riachos: Efeitos da qualidade química e origem das espécies. *Revista vivências*. Erechin, v. 17, n.32, p. 439-455, 2021.

PELICICE, F. M., AGOSTINHO, A. A. Feeding ecology of fishes associated with *Eugeria spp.* patches in a tropical reservoir, Brazil. *Ecol. Freshw. Fish*, 15:10-19, 2006.

PERI, P. L.; LUCAS, R. J.; MOOT, D. J. Dry matter production, morphology and nutritive value of *Datylis glomerata* growing under different light regimes. *Agroforestry Systems*, v.70, p. 63-79, 2007.

PIVARI, M. O. D.; SALIMENA, F. R. G.; POTT, V. J.; POTT, A. Macrófitas Aquáticas da Lagoa Silvana, Vale do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. *Iheringia Série Zoologia*, v. 63, n. 2, p. 321-327, 2008.

POORTER, L. Light-dependent changes in biomass allocation and their importance for growth of rain forest tree species. *Functional Ecology*, 15:113–123, 2001.

- POTT, V. J., POTT A., LIMA, L. C. P.; OLIVEIRA, A. K. M. Aquatic macrophyte diversity of the Pantanal wetland and upper basin. *Brazilian Journal of Biology*, 71, 255–263, 2011.
- QUESADA, H. B.; REDONDO, G.; VERNASQUI, L. G.; MAGNONI, P. H. J.; ARANTES, E. J. Análise da vegetação ripária em bacia hidrográfica utilizando índice de vegetação normalizada (NDVI) no município de Maringá- PR. *Geo UERJ*, Rio de Janeiro, n. 31, p. 439-455, 2017. doi: 10.12957/geouerj.2017.26737
- RAIJ, B. VAN. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba, Instituto de Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 142 p, 1981.
- RAMÍREZ, A.; JESÚS-CRESPO, R.; MARTINÓ-CARDONA, D.M.; MARTÍNEZ-RIVERA, N.; BURGOS-CARABALLO, S. Urban streams in Puerto Rico: what can we learn from the tropics? *Journal of the North American Benthological Society*, 28:1070-1079, 2009.
- RAST, W.; THORNTON, J. A. Trends in eutrophication research and control. *Hydrological Processes*, vol. 10, no. 2, pp. 295-313, 1996.
- RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia geral**. 6ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 906 p., 2001.
- RICHARDSON, D. M.; PYSEK, P. Fifty years of invasion ecology – the legacy of Charles Elton. *Diversity and Distributions*, 14: 161-168, 2008.
- R CORE TEAM, 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, *Austria*. URL <https://www.R-project.org/>.
- RIIS, T.; MADSEN, T. V.; SENNELS, R. S. H. Regeneration, colonisation and growth rates of allofragments in four common stream plants. *Aquatic Botany*, 90(2), 209-212, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquabot.2008.08.005>
- ROUSENBERG, D. M.; RESH, V. H. Introdução do biomonitoramento de água doce e macroinvertebrados bentônicos. *Chapman & Hall*, Nova York, 1993.
- RUSSELL, E. W.; RUSSELL, E. J. Soil conditions and plant growth. 10th ed. London, *Longmans Green*, 849 p., 1973.
- SANTAMARÍA, L. Why are most aquatic plants widely distributed? Dispersal, clonal growth and small-scale heterogeneity in a stressful environment. *Acta Oecologica*, 23(3), 137-154, 2002. [http://dx.doi.org?10.1016/S1146-609X\(02\)01146-3](http://dx.doi.org?10.1016/S1146-609X(02)01146-3)
- SANTOS, F. M. C.; BOINA, W. L. O. Bioindicadores: Utilização de Macrófitas Aquáticas para Avaliação de Ambientes Lacustres. *Colloq Vitae*. jan-abr; 9(1): 23-27, 2017. doi: 10.5747/cv.2017.v09.n1.v185

SCREMIN-DIAS, E.; POTT, V. J.; REGIS, H. C. Nos jardins submersos da Bodoquena: guia para identificação de plantas aquáticas de Bonito e região. *ECOIA-Ecologia e Ação*, 1999.

SCHEFFER, M.; HOSPER, S. H.; MEIJER, M-L.; MOSS, B.; JEPPESEN, E.; Alternative Equilibria in shallow lakes. *Trends in Ecology and Evolution*, 8(8), 275-279, 1993.

SCHWAMBACH, J.; F ADANELLI, C.; FETT -NETO, A. G . Mineral nutrition and adventitious rooting in microcuttings of *Eucalyptus globulus*. *Tree Physiology*, v .25, n.4,p.487-494, 2005.

SIMBERLOFF, D. Non-espécie nativa Do ameaçam o meio ambiente natural! J Agric Enrivon Ethics, 18,595-607, 2005. <https://doi.org/10.1007/s10806-005-2851-0>

SILVA, D. S.; MARQUES, E. E.; LOLIS, S. F. Macrófitas aquáticas: “Vilãs ou Mocinhas”? Tocantins. *Interface*, Edição 4, 2012.

SILVEIRA, M. P. O. Papel do biomonitoramento na recuperação da água degradada pela agricultura. *Instituto Agrônomo*, Campinas, SP, 13 a 15 dc setembro de 2006.

SPENCE, D. H. N.; CAMPBELL, R. M.; CHRYSTAL, J. Specific leaf areas and zonation of freshwater macrophytes. *Journal of Ecology*, 61: 317–328, 1972.

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*, 46: 203–209, 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Tradução de E. R. Santarém *et al.* 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 720p., 2004.

TEIXEIRA, M. C., LUIS M. BINI, M. L., THOMAZ, S. D. Biotic resistance buffers the effects of nutrient enrichment on the success of a highly invasive aquatic plant. *Freshwater Biology*, 2016. doi:10.1111/fwb.12849

THOMAZ, S. M. Fatores ecológicos associados à colonização e ao desenvolvimento de macrófitas aquáticas e desafios de manejo. *Planta Daninha*, 20(1), 21-33, 2002.

THOMAZ, S. M.; DIBBLE, E. D.; EVANGELISTA, L. R.; HIGUTI, J.; BINI, L. M. Influence of aquatic macrophyte habitat complexity on invertebrate abundance and richness in tropical lagoons. *Freshwater Biology*, 53, 358–367, 2008.

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*, 35: 614–620, 2009.

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

assemblages' composition and biodiversity. *Acta Limnologica Brasiliensis*, vol. 22, no. 2, p. 218-236, 2010. doi: 10.4322/actalb.02202011

THOMAZ, S. M.; ESTEVES, F. S. E. Comunidade de macrófitas aquáticas. In: Esteves, F. A. E. *Fundamentos de Limnologia*. 3a Ed. Rio de Janeiro. Interciência, p.461-518, 2011.

THOMAZ, S. M. Ecosystem services provided by freshwater macrophytes. *Hydrobiologia*, (online) 10.1007/s10750-021-04739-y 2021

TITUS, J. E.; ADAMS, M. S. Coexistence and the comparative light relations of the submersed macrophytes *Myriophyllum spicatum*L. and *Vallisneria Americana* Michx. *Oecologia*, 40: 273–286, 1979.

VALLADARES, F.; U. NINEMETS. Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 39:237–257, 2008.

VENABLES, W. N. AND RIPLEY, B. D. Modern Applied Statistics with S. Fourth Edition. **Springer**, New York. ISBN 0-387-95457-0, 2002.

VITULE, J. R. S.; PRODOCIMO, V. Introdução de espécies não nativas e invasões biológicas. *Estud. Biol., Ambiente Divers*, 34(83), 225-237, 2012.

VOGEL, H. F.; ZAWADZKI, C. H.; METRI, R. Florestas ripárias. Importância e principais ameaças. *Sabios: Ver. Saúde e Biol*, Campo Mourão, v. 4, n.1, p. 24-30, 2009.

WALSH, C.J.; ROY, A.H.; FEMINELLA, J.W.; COTTINGHAM, P.D.; GROFFMAN, P.M.; MORGAN II, R.P. The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure. *Journal of the North American Benthological Society*, 24: 706–723, 2005.

WILCOVE, D. S.; ROTHSTEIN, D.; JASON, D. J.; PHILLIPS, A.; LOSOS, E. Quantifying Threats to Imperiled Species in the United States: Avaliando a importância relativa da destruição de habitat, espécies exóticas, poluição, superexploração e doenças. *BioScience*, Volume 48, Edição 8, P. 607–615, agosto de 1998. <https://doi.org/10.2307/1313420>

WINTON, M. D.; CLAYTON, J. S. The impact of invasive submerged weed species on seed banks in lake sediments. *Aquatic Botany*, Amsterdam, v. 53, p. 31-45, 1996.

ZHAO, C. F.; LI, H. L.; LUO, F. L. Effects of light heterogeneity on growth of a submerged clonal macrophyte. *Plant Species Biology*, v. 28. p. 156-164, 2013.

ZILLER, S. R.; ZALBA, S. Propostas de ação para prevenção e controle e espécies exóticas invasoras. *Natureza & Conservação* – vol. 5- nº 2 - PP 8-15, – outubro 2007.

ZHU B., ELLIS M. S., FANCHER K. L., RUDSTAM L. G. Shading as a Control Method for Invasive European Frogbit (*Hydrocharis morsus-ranae* L.). *PLoS ONE* 9(6): e98488, 2014.

doi:10.1371/journal.pone.0098488.<https://latrop.ib.usp.br/doku.php?id=cursos:planeco:roteiro:10-glm>

ZUUR, A. F.; IENO, E. N.; WALKER, N.; SVELIEV, A. A.; SMITH, G. M. 2009. Mixed effects models and extensions in ecology with R, Statistics for Biology and Health. Springer 815 New York, New York, NY. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-7458-6816>