



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS REITOR JOÃO DAVID FERREIRA LIMA
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA E ZOOLOGIA
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Amanda Cristina Stuermer

Regeneração pós-fogo em espécies filogeneticamente próximas de Poaceae

Florianópolis, SC

2024

Amanda Cristina Stuermer

Regeneração pós-fogo em espécies filogeneticamente próximas de Poaceae

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Ciências Biológicas do Campus João David Ferreira Lima da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciada em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Renaly Souza Figueiredo
Coorientadora: Ma. Larissa Carrara Gonçalves

Florianópolis, SC

2024

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.
Dados inseridos pelo próprio autor.

Stuermer, Amanda Cristina

Regeneração pós-fogo em espécies filogeneticamente próximas de Poaceae / Amanda Cristina Stuermer ; orientador, Bruno Renaly Souza Figueiredo, coorientadora, Larissa Carrara Gonçalves, 2024.

36 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Biológicas, Graduação em Ciências Biológicas, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Ciências Biológicas. 2. Espécie invasora. 3. Regeneração vegetal. 4. Fogo. 5. Braquiária. I. Figueiredo, Bruno Renaly Souza. II. Gonçalves, Larissa Carrara. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Ciências Biológicas. IV. Título.

Amanda Cristina Stuermer

Regeneração pós-fogo em espécies filogeneticamente próximas de Poaceae

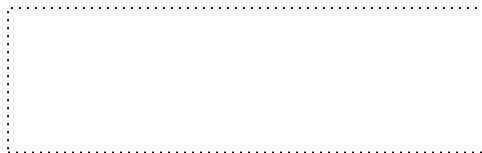
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Licenciada e aprovado em sua forma final pelo Curso de Ciências Biológicas.

Florianópolis, 02 de dezembro de 2024.



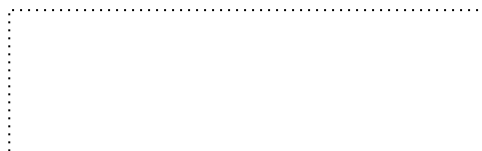
Coordenação do Curso

Banca examinadora



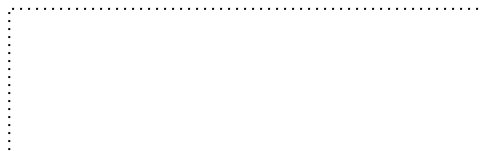
Prof. Bruno Renaly Souza Figueiredo, Dr.

Orientador



Prof. Sidinei Magela Thomaz, Dr.

Universidade Estadual de Maringá



Sofia Casali, Ma.

Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 2024.

Aos meus pais, Rosane e Hilton,
que tornaram tudo isso possível.

AGRADECIMENTOS

Estar onde estou agora foi por muito tempo um sonho meu que parecia nunca se tornar realidade. Dentre tropeços e percalços, consegui me encontrar em um caminho que me deixa genuinamente feliz e realizada. Quero agradecer principalmente à minha família, sem os quais não conseguiria estar aqui e nem ter me dedicado com tanto afinco aos meus objetivos. Obrigada por sempre acreditarem em mim e por terem compreendido cada etapa da minha aventura. Sem a força e apoio que encontro em vocês eu jamais estaria onde estou.

Quero agradecer ao meu orientador, Bruno, por ter me ensinado o que é ciência e ter me apresentado um caminho no qual me sinto motivada a continuar. Obrigada por todos os ensinamentos, pela paciência e por sempre estar disposto a conversar e ouvir minhas ideias. Sou muito grata pelos anos de mentoria, de escrita e reflexão conjuntas que mudaram a minha trajetória dentro da Biologia e trouxeram um senso de propósito muito grande à minha formação. À minha coorientadora, Larissa, quero agradecer pela companhia, pela amizade, por todas as conversas e por me incentivar a correr atrás dos meus sonhos.

Agradeço ao Laboratório de Biodiversidade Aquática da UFSC, onde encontrei um espaço de acolhimento, aprendizagem e ajuda mútua. Meu caminho dentro da Biologia seria completamente diferente se eu não tivesse encontrado esse laboratório, local onde aprendi a ser pesquisadora, extensionista e, principalmente, bióloga. Obrigada por todas as conversas, os cafés, as reuniões, as discussões de projetos, as confraternizações e toda a ajuda que recebi neste trabalho ao longo dos anos que estive no LABIAQ. Quero agradecer à Larissa, Gustavo, Ronnilda, Diogo, Petterson, Marco, Ketyllen, João, Pedro, Apolo, Sabrina e Thiago, pela ajuda fundamental durante os experimentos e pela companhia durante esses anos.

Quero agradecer aos meus amigos, que estiveram ao meu lado durante esses cinco anos transformadores. Em especial quero agradecer ao meu amigo Gustavo, que se tornou uma das pessoas mais importantes nesse processo. Nossa amizade foi florescendo ao longo das aulas, das demandas e dos momentos de crise. Obrigada por dividir as dificuldades, as felicidades e também as angústias ao longo desses anos. Agradeço por estar ao meu lado nesse processo de escrita, por ter me ajudado a colocar a cabeça no lugar tantas vezes sentados nas escadas do CCB, e por ser a alegria de muitos dias onde eu não estaria afim de fazer as coisas sozinha. Quero agradecer também à Camila e Mariana, minhas companheiras de graduação, cuja presença sempre foi um alívio no meio de tantas obrigações. Obrigada por estarem comigo dividindo os momentos bons e ruins, as vitórias e as derrotas. Agradeço também ao meu

companheiro de vida Yan, por todo o apoio, parceria e amor durante esses anos. Obrigada por ser meu porto seguro e me acompanhar em todos os momentos que eu precisei.

Agradeço ao Prof. Dr. Sidinei M. Thomaz e à Ma. Sofia Casali por terem aceitado participar da minha banca. Obrigada pela atenção ao revisar o meu trabalho, pelas palavras durante a defesa e pelas contribuições que fizeram no meu texto. Agradeço também à Fabielle M. Bando pela ajuda durante a concepção do trabalho, por ter me acompanhado até a estufa quando eu precisei e pelas contribuições feitas na minha apresentação.

Por fim, gostaria de agradecer à UFSC por ter me proporcionado uma experiência de graduação extremamente rica. Quando cheguei em Florianópolis, fiquei deslumbrada com a beleza da cidade, mas também muito feliz de estar frequentando a universidade onde por muitos anos eu apenas sonhava em entrar. Agradeço à Biologia UFSC por ter proporcionado um ambiente único, onde fui capaz de explorar diferentes versões de mim mesma. Agradeço aos professores do CCB, que inúmeras vezes me deslumbraram com a beleza da vida, da pesquisa, do ensino e da extensão. Agradeço também à FAPESC por ter financiado o projeto que culminou neste TCC e pela bolsa de iniciação científica concedida, sem a qual a execução teria sido inviável.

"He often used to say there was only one Road; that it was like a great river: its springs were at every doorstep and every path was its tributary. 'It's a dangerous business, Frodo, going out of your door,' he used to say. 'You step into the Road, and if you don't keep your feet, there is no telling where you might be swept off to.'"

(Tolkien, 1954, p. 96)

RESUMO

As frequências de fogo têm aumentado em ecossistemas ao redor do mundo como consequência das mudanças climáticas e de atividades antrópicas. A ocorrência de fogo em locais próximos ao ambiente aquático pode modificar a composição da comunidade vegetal através da remoção das espécies estabelecidas e aumento na disponibilidade de nutrientes no solo, criando condições favoráveis para espécies oportunistas. A capacidade de sobrevivência e regeneração das espécies frente ao fogo contribuirá para o sucesso ou fracasso no estabelecimento e desenvolvimento pós-distúrbio. Entretanto, as espécies exibem respostas diferentes ao fogo, o que pode influenciar a dinâmica da comunidade em recuperação e favorecer espécies resistentes ao distúrbio, especialmente em ecossistemas considerados sensíveis ao fogo. Este estudo teve como objetivo avaliar se uma espécie exótica invasora (*Urochloa arrecta*) e uma espécie exótica introduzida no Brasil (*Hemarthria altissima*) diferem quanto à recuperação após o distúrbio do fogo e se há diferença no tempo de brotamento, na produção e alocação de biomassa, no crescimento total e no tempo de rebrota das espécies após a queima. Para isso, foram realizados dois experimentos em casa de vegetação: o primeiro avaliou diferenças no tempo de brotamento entre as espécies em condições normais e o segundo avaliou as respostas de *Urochloa arrecta* e *Hemarthria altissima* ao fogo, em monocultura. Os resultados demonstraram que ambas as espécies produziram mais biomassa após o fogo, contudo a espécie invasora apresentou maior capacidade regenerativa, produzindo maior quantidade de biomassa após o fogo em relação à espécie introduzida. A estratégia de alocação de biomassa diferiu entre as espécies, com a invasora investindo mais recursos nas raízes e a introduzida na parte aérea. Adicionalmente, *Urochloa arrecta* teve maior taxa de brotamento em condições naturais e maior capacidade de rebrota após o fogo. Os resultados deste trabalho indicam o potencial do fogo em atuar como facilitador do estabelecimento de uma espécie exótica invasora em ambientes úmidos do Brasil.

Palavras-chave: Espécie invasora; fogo; regeneração vegetal; Braquiária.

ABSTRACT

Fire events have increased in ecosystems around the world as a consequence of climate change and anthropogenic activities. The occurrence of fires in areas close to aquatic environments can modify plant community composition through the removal of established species and increase in the availability of soil nutrients, which leads to favorable conditions for opportunistic species. Species ability to survive and regenerate after fire will contribute to determine their success or failure in establishing and developing after a disturbance. However, species exhibit different responses to fire, which can influence the dynamics of the recovering community and favor disturbance-resistant species, especially in fire-sensitive ecosystems. This study aimed to verify whether an invasive exotic species (*Urochloa arrecta*) and an exotic introduced species (*Hemarthria altissima*) differ in regeneration after fire disturbance and whether there is a difference in species sprouting rate, biomass production and allocation, total growth and resprouting rate after fire. To answer these questions, we conducted two greenhouse experiments: the first aimed to evaluate differences in sprouting rates between the two species under normal conditions and the second evaluated *Urochloa arrecta* and *Hemarthria altissima*'s responses to fire, grown in monocultures. The results show that both species produced more biomass after fire, however the invasive species showed greater regenerative capacity, producing a greater amount of biomass after fire compared to the introduced species. Biomass allocation differed between species, as the invasive invested more resources in the roots while the introduced invested in aerial parts. Additionally, *Urochloa arrecta* had higher sprouting rate under natural conditions and higher resprouting capacity after fire. Our results indicate the potential of fire to act as a facilitator of the establishment of an invasive species in humid and aquatic environments in Brazil.

Keywords: Invasive species, fires; plant regeneration; Brachiaria.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	MATERIAIS E MÉTODOS	13
2.1	ESPÉCIES DE ESTUDO.....	13
2.2	AMOSTRAGEM E PREPARAÇÃO DOS PROPÁGULOS.....	15
2.3	EXPERIMENTO 1: TEMPO DE BROTAMENTO	15
2.4	EXPERIMENTO 2: RESPOSTAS DAS ESPÉCIES AO FOGO	15
2.5	OBTENÇÃO DOS DADOS.....	17
2.6	ANÁLISE DE DADOS.....	18
3	RESULTADOS	19
3.1	EXPERIMENTO 1: TEMPO DE BROTAMENTO	19
3.2	EXPERIMENTO 2: RESPOSTAS DAS ESPÉCIES AO FOGO	20
4	DISCUSSÃO	24
	REFERÊNCIAS	29

1 INTRODUÇÃO

A estrutura de uma comunidade é determinada por diversos fatores bióticos e abióticos que podem limitar ou permitir o estabelecimento, a reprodução, a persistência e a coexistência de um conjunto de espécies que chegam a um dado local, derivadas de um *pool* regional de espécies que é mediado por filtros de dispersão (Keddy, 1992; Pearson *et al.*, 2018). Os fatores que limitam e direcionam o processo de montagem de uma comunidade são complexos e a ocorrência de distúrbios tende a alterar diversos desses fatores, favorecendo algumas espécies em detrimento de outras (Escobedo *et al.*, 2021; Jauni; Gripenberg; Ramula, 2015; Lake; Leishman, 2004). Em um ambiente sujeito a distúrbios, espécies com maior plasticidade fenotípica podem ter maior chance de persistir (Sosnová *et al.*, 2014) por terem maior probabilidade de se adaptarem às condições adversas. A ocorrência de distúrbios está frequentemente relacionada ao estabelecimento de espécies exóticas invasoras por modificar as condições bióticas e abióticas da comunidade. Por exemplo, a redução na abundância de espécies já estabelecidas e o aumento na disponibilidade de nutrientes no solo ocasionados pelo distúrbio poderão ser aproveitados por espécies oportunistas que cheguem a este local, bem como por espécies já existentes na comunidade que dependam do distúrbio para germinar ou se estabelecer (Davis; Grime; Thompson, 2000). Diversas espécies exóticas invasoras possuem a habilidade de explorar eficientemente os nutrientes disponíveis no solo em ambientes perturbados, fazendo-as sobrepujar as demais espécies na competição por recursos (Carrara *et al.*, 2024; David *et al.*, 2017). A introdução, o estabelecimento e a expansão de espécies de gramíneas exóticas invasoras pode alterar o regime de distúrbios dos ecossistemas, favorecendo a ocorrência de incêndios mais intensos e estabelecendo um ciclo onde o fogo favorece as espécies invasoras e estas, por sua vez, favorecem a ocorrência do fogo (Fusco *et al.*, 2022).

O distúrbio do fogo pode estimular o rebrote da vegetação em ecossistemas abertos (López-Mársico; Lezama; Altesor, 2021), mas a intensidade e o momento do fogo são fatores que influenciam os impactos sobre a comunidade vegetal, de modo que o fogo catastrófico e o fogo prescrito têm efeitos diferenciados sobre as espécies vegetais (Arkle; Pilliod, 2010). Em ecossistemas que não estão sujeitos ao fogo frequente, a ocorrência de fogo eventualmente resulta em impactos severos sobre a biodiversidade, o solo, a região ripária e o ambiente aquático (Abraham; Dowling; Florentine, 2017; Grau-Andrés; Moreira; Pausas, 2024; Li *et al.*, 2021). A capacidade das espécies de sobreviver e reproduzir pós-fogo (resistência, Enright *et al.*, 2014) e suas capacidades de rebrotar e restabelecer características da população comparáveis àquelas pré-distúrbio (resiliência, Enright *et al.*, 2014) são características das

plantas que determinarão a composição e a densidade da comunidade após o fogo. A combustão da biomassa pelo fogo resulta em uma maior disponibilidade de nutrientes no solo, diminuição da cobertura vegetal e aumento da incidência de luz (Zouhar; Smith; Sutherland, 2008). Logo, as espécies que conseguem rebrotar neste ambiente recém afetado por um evento de fogo irão competir e o resultado dessa competição afeta a composição da comunidade vegetal pós-fogo (Zouhar; Smith; Sutherland, 2008). Além da competição, a comunidade estará sujeita também aos demais fatores bióticos e abióticos que podem influenciar na recuperação após o distúrbio e favorecer as espécies exóticas invasoras (Jauni; Gripenberg; Ramula, 2015). A persistência de estruturas subterrâneas que não sejam afetadas pelo fogo, como raízes, rizomas ou sementes viáveis no solo, também pode garantir uma vantagem na volta das espécies após o distúrbio (Clarke *et al.*, 2013). Dessa forma, espécies que aloquem grande quantidade de recursos nas raízes ou que formem bancos de sementes no solo podem ter facilidade no restabelecimento da população.

Espécies com uma maior capacidade regenerativa após o fogo terão uma vantagem competitiva sobre espécies sensíveis neste ambiente pós-distúrbio. Os recursos disponíveis após o fogo, como maior disponibilidade de nutrientes, luz e espaço, podem levar a uma maior suscetibilidade à invasão para uma comunidade ('hipótese da flutuação de recursos'; Davis; Grime; Thompson, 2000). A quantidade de propágulos de espécies presentes na área queimada e nos seus arredores também é um importante fator que influenciará na recolonização da comunidade (Thomaz; Mormul; Michelan, 2015), de forma que ambientes sujeitos a uma alta pressão de propágulos de espécies exóticas invasoras têm maior probabilidade de serem invadidos (Simberloff, 2009). A presença de espécies exóticas invasoras é um problema ambiental, pois elas frequentemente estão associadas a menor diversidade de espécies nativas (Bando *et al.*, 2023), além de produzir um grande volume de biomassa vegetal que, ao secar, torna o ambiente invadido ainda mais suscetível ao fogo (Billings, 1992; Brooks *et al.*, 2004). Características intrínsecas das espécies vegetais como o teor de umidade e a volatilidade química dos tecidos modificam a capacidade daquela espécie de servir como combustível para um evento de fogo, sendo que a introdução de espécies particularmente inflamáveis pode modificar a frequência, intensidade e sazonalidade do fogo (Brooks *et al.*, 2004) e contribuir para a intensificação do distúrbio.

As ocorrências de fogo têm aumentado em ecossistemas ao redor do mundo como consequência das mudanças climáticas e de atividades antrópicas (Abatzoglou; Williams; Barbero, 2019; Westerling, 2016). No caso do Brasil, mesmo ecossistemas dependentes do fogo

vêm sendo atingidos por incêndios catastróficos com consequências sobre a biodiversidade local (Fontenele; Miranda, 2024). Logo, analisar e entender as dinâmicas de sobrevivência e estabelecimento das espécies frente a essa perturbação é de extrema importância para a preservação da diversidade e abundância de espécies nativas. Mudanças nos padrões de precipitação resultam no maior ressecamento de biomassa vegetal e, consequentemente, podem aumentar a suscetibilidade de ecossistemas à ocorrência de fogo. Apesar de habitarem locais úmidos, a vegetação ripária de corpos hídricos está sujeita à ocorrência de incêndios catastróficos, cujos efeitos podem ser tão intensos quanto em ambientes terrestres (Douglas *et al.*, 2015).

Neste estudo, foram realizados dois experimentos em casa de vegetação para avaliar as respostas ao fogo de duas espécies de plantas filogeneticamente próximas (Poaceae) que coexistem em áreas úmidas: uma espécie introduzida (*Hemarthria altissima*) e uma espécie exótica invasora (*Urochloa arrecta*). Nos experimentos foi testada a hipótese de que a espécie invasora possui maior capacidade regenerativa após distúrbio causado pelo fogo em comparação à espécie introduzida. Especificamente, no primeiro experimento foi avaliado o tempo de brotamento das espécies sem o fogo. No segundo experimento foram avaliados (1) tempo de rebrota pós-fogo, (2) produção de biomassa ao nível de propágulo e (3) ao nível de bandeja, (4) comprimento da parte aérea e (5) alocação de biomassa (razão parte aérea:raiz) da espécie introduzida *Hemarthria altissima* e da espécie invasora *Urochloa arrecta*. Os resultados dessa pesquisa podem revelar se o distúrbio do fogo beneficia a taxa de brotamento de espécies de plantas com potencial invasor alto, tais como *Urochloa arrecta*.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ESPÉCIES DE ESTUDO

A espécie invasora utilizada neste estudo é uma gramínea perene introduzida da África, *Urochloa arrecta* (Hackel ex T. Durand & Schinz) Morrone & Zuloaga. É uma espécie de planta emergente, comumente encontrada em áreas úmidas, cujas raízes ficam fixas no substrato e as porções vegetativas podem se estender para a porção limnética do corpo aquático e formar densa cobertura, reduzindo a disponibilidade de espaço e luz para as demais espécies (Carniatto *et al.*, 2013; Fernandes; Teixeira; Thomaz, 2013). Essa espécie já foi registrada como invasora em diversos biomas brasileiros, com ocorrências no Pantanal (Pott *et al.*, 2011), no estado de São Paulo (Martins *et al.*, 2008), no estado do Paraná (Fernandes; Teixeira; Thomaz,

2013), no semiárido brasileiro (Alves; Albuquerque; Barbosa, 2017) e na Amazônia (Fares; Nonato; Michelin, 2020). Seu potencial de invasão é grande em ambientes aquáticos devido à sua alta capacidade de regenerar e produzir raízes a partir de qualquer fragmento com nós (Michelan *et al.*, 2010a), sendo a reprodução vegetativa provavelmente sua principal forma de dispersão (Evangelista *et al.*, 2017).

Urochloa arrecta também é altamente resistente às mudanças no nível de água (Thomaz *et al.*, 2009) e seus fragmentos conseguem regenerar após longos períodos de dessecação (Michelan *et al.*, 2010b), porém apresenta menor cobertura e estabelecimento em locais sombreados por vegetação ripária (Bunn *et al.*, 1998; Evangelista *et al.*, 2017). Esta espécie tem sido extensivamente investigada em estudos experimentais (Bando; Michelin; Thomaz, 2016; Bora; Thomaz; Padial, 2020; Fasoli; Michelin; Thomaz, 2015; Leal *et al.*, 2022; Santini *et al.*, 2022) e de campo (Sato; Costa; Padial, 2021; Thomaz *et al.*, 2009) que buscam compreender os atributos que lhe conferem alto potencial de invasão e as influências negativas da sua presença sobre as comunidades e populações nativas (Carniatto *et al.*, 2013; Sato; Costa; Padial, 2021).

Hemarthria altissima (Poir.) Stapf & C. E. Hubb. é uma espécie de gramínea perene nativa da África e da Ásia (Heuvel; Veldkamp, 2000) e introduzida ao Brasil. *Hemarthria altissima* é adaptada a ambientes de solo úmido e climas quentes, produz boa quantidade de matéria seca e é resistente ao encharcamento (Della *et al.*, 2018). É frequentemente utilizada como pastagem para animais de grande porte, como bovinos e equinos, por possuir alta digestibilidade e bom conteúdo nutricional (Newman *et al.*, 2009). Características da espécie como resistência à baixas temperaturas e persistência das populações após pastoreio pelos animais conferem vantagens aos produtores que optam por utilizar essa espécie, fazendo com que os cultivares de *Hemarthria altissima* sejam bastante utilizados no Brasil e no mundo (Newman *et al.*, 2009). Assim como *Urochloa arrecta*, *Hemarthria altissima* é capaz de produzir raízes a partir de qualquer fragmento com nós, sendo a propagação vegetativa uma importante estratégia de reprodução. Para efeito de comparação, *Hemarthria altissima* foi selecionada por ser da mesma família que a espécie invasora (Poaceae), possuir facilidade na reprodução vegetativa e crescer em ambientes tanto aquáticos quanto terrestres. Tais características permitem que a espécie coexista com *Urochloa arrecta* na natureza e seja uma candidata ideal para estudos experimentais.

2.2 AMOSTRAGEM E PREPARAÇÃO DOS PROPÁGULOS

As plantas foram coletadas em uma área úmida localizada na Fazenda Experimental da Ressacada da Universidade Federal de Santa Catarina (27° 41' 06.28" S; 48°32' 38.81" O), na cidade de Florianópolis, Santa Catarina. A Fazenda é composta por 233.900m² de vegetação nativa, 288.890m² de banhados e 695.000m² de área antropizada (CCA, 2023), e seu solo é classificado como Neossolo Quartzarênico Hidromórfico Típico segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (Embrapa, 1999). A área de estudo está localizada em região subtropical úmida segundo a classificação de Köppen, com precipitação média entre 1270 e 1600 mm anuais, umidade média de 82% e insolação total anual entre 2021 a 2166 horas (CCA, 2023). As espécies foram coletadas e transportadas em sacos plásticos até o *campus* da Universidade Federal de Santa Catarina, onde os propágulos foram preparados.

2.3 EXPERIMENTO 1: TEMPO DE BROTAMENTO

Para testar se há diferença no tempo de brotamento entre *Urochloa arrecta* e *Hemarthria altissima*, foi realizado um estudo experimental em casa de vegetação utilizando potes plásticos nas dimensões 10 cm (C) x 10 cm (L) x 5,7 cm (A) como unidades experimentais. Os recipientes foram preenchidos com um substrato complexo, composto por uma parte de areia fina e uma parte de areia coletada na Lagoa Pequena (27° 41' 27" S, 48° 28' 42" W). O substrato foi homogeneizado em betoneira e distribuído em proporções iguais em todas as unidades experimentais. Os propágulos das espécies foram preparados a partir da remoção das folhas, manutenção de um nó por fragmento e padronizados por peso utilizando uma balança semianalítica. Em cada unidade experimental foi introduzido um propágulo de uma das espécies, sendo 10 réplicas para cada espécie e totalizando 20 unidades experimentais totais. Os propágulos receberam irrigação constante por 60 dias e durante o experimento foi contabilizado o total de dias até o brotamento para cada unidade experimental. O brotamento foi considerado como o desenvolvimento de raízes e folhas a partir dos propágulos.

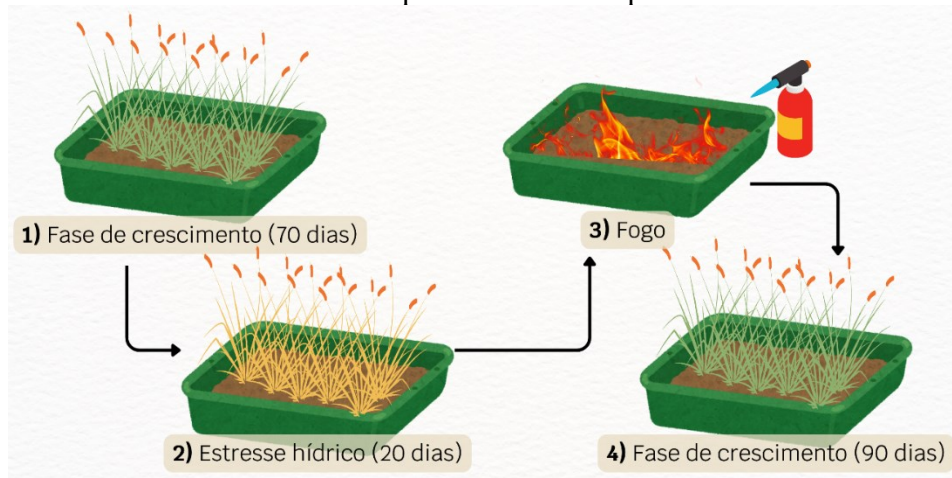
2.4 EXPERIMENTO 2: RESPOSTAS DAS ESPÉCIES AO FOGO

Para testar se há diferença na capacidade regenerativa após o fogo entre a espécie invasora (*Urochloa arrecta*) e a espécie introduzida (*Hemarthria altissima*), foi realizado um estudo experimental em casa de vegetação utilizando bandejas plásticas nas dimensões 56 cm

(C) x 36,3 cm (L) x 14,5 cm (A) como unidades experimentais. As bandejas foram preenchidas com um substrato complexo, composto por uma parte de areia fina, uma parte de terra vermelha e uma parte de areia coletada na Lagoa Pequena (27° 41' 27" S, 48° 28' 42" W). O substrato foi homogeneizado em betoneira e distribuído em proporções iguais em todas as unidades experimentais. Os propágulos das espécies foram preparados a partir da remoção das folhas e padronização do tamanho da parte aérea em 15 centímetros e da raiz em 2 centímetros. Foram introduzidos 12 propágulos em cada unidade experimental, sendo dois tratamentos com 12 réplicas cada (totalizando 24 unidades experimentais): monocultura de *Urochloa arrecta* e monocultura de *Hemarthria altissima*. Os propágulos totais introduzidos em cada unidade experimental foram padronizados por peso utilizando uma balança semianalítica.

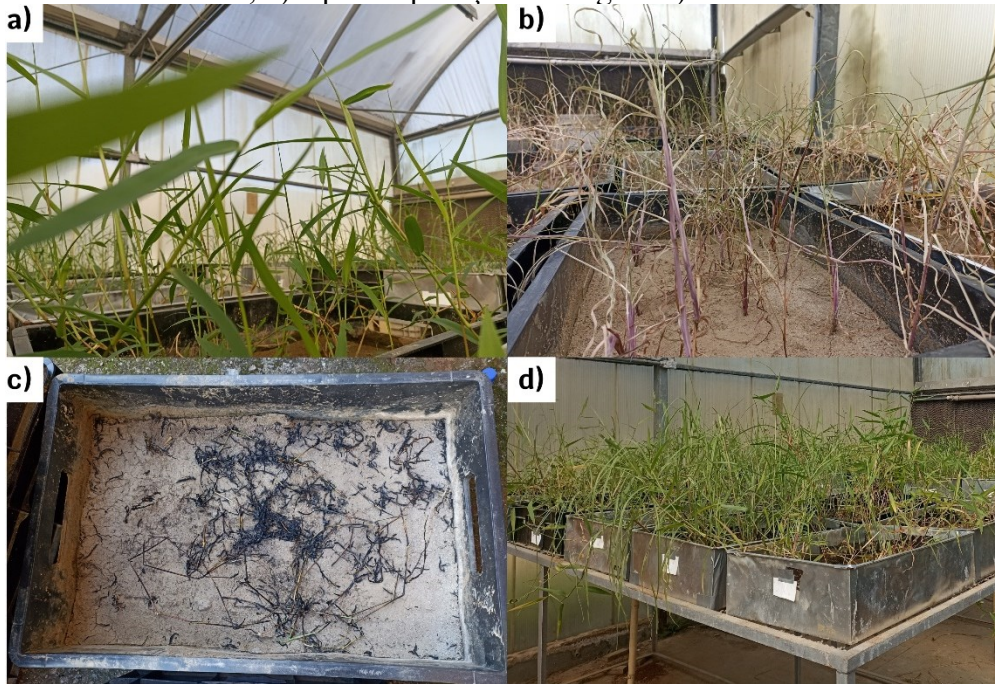
As bandejas receberam irrigação constante durante o período de crescimento das espécies, totalizando 70 dias. Ao final do período de crescimento, foram selecionadas 3 unidades experimentais de cada tratamento de maneira aleatória, totalizando 6 bandejas. O material vegetal dessas unidades experimentais foi retirado, acondicionado em estufa a 60°C e pesado com uma balança semianalítica para estimar a produção de biomassa das espécies antes do distúrbio do fogo. O restante das unidades experimentais (18) foi submetido a um estresse hídrico de 20 dias durante o qual o fornecimento de água foi cessado. Com a matéria vegetal ressecada, o fogo foi aplicado utilizando um maçarico multi-uso modelo MA-0054 abastecido com gás butano. O tempo de duração da queima foi padronizado em 3 minutos e o fogo não atingiu o substrato, mantendo-se apenas na parte aérea da vegetação. Após a simulação do distúrbio, as unidades experimentais voltaram a receber irrigação constante por um período de 90 dias. Foi contabilizado o tempo de rebrota após o fogo (em dias) de todos os indivíduos para todas as unidades experimentais. Ao final do experimento, o comprimento total da parte aérea das espécies foi medido com auxílio de uma régua. Os indivíduos foram acondicionados em uma estufa a 60°C até atingirem o peso constante e posteriormente pesados em uma balança semianalítica para a obtenção dos dados de biomassa seca das raízes e da parte aérea das espécies.

Figura 1. Delineamento amostral do experimento 2: respostas das espécies ao fogo, destacando as quatro fases do experimento.



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 2. Imagens das quatro fases do experimento, sendo: a) Fase de crescimento, b) Estresse hídrico, c) Após a aplicação do fogo e d) Fase de crescimento.



Fonte: elaborado pela autora.

2.5 OBTENÇÃO DOS DADOS

O tempo de brotamento e o tempo de rebrota após o fogo foram medidos em dias. A biomassa total (em gramas) e o crescimento da parte aérea (em centímetros) das duas espécies foram medidos antes do fogo (“pré fogo”) em 3 unidades experimentais por tratamento selecionadas aleatoriamente e após o final do experimento (“pós fogo”) nas unidades experimentais restantes (9). A biomassa total foi calculada a partir da soma da biomassa da raiz

e da biomassa da parte aérea de cada indivíduo ao final do experimento (“biomassa total por indivíduo”). Para que os valores de biomassa das raízes das plantas que foram submetidas ao fogo refletissem a mudança após o distúrbio, uma vez que o fogo simulado não atingiu o substrato, nós calculamos essa medida subtraindo a média da biomassa das raízes antes do fogo (“pré fogo”) da biomassa das raízes ao final do experimento (“pós fogo”), para cada uma das duas espécies. Todas as medidas por propágulo foram somadas para se calcular as medidas por bandeja (“biomassa total por bandeja” e “razão parte aérea:raiz por bandeja”). A inclusão das duas abordagens (por propágulo e por bandeja) nos permite avaliar a variabilidade nas respostas de cada planta, em vez de somente a tendência representada pela média de todos os indivíduos por unidade experimental.

A proporção de rebrota das espécies foi calculada a partir do número inicial de propágulos plantados em cada unidade experimental (12 propágulos = 100%) em relação ao número final de propágulos após o fogo (x propágulos = $y\%$). Foi contabilizado o tempo até a formação do primeiro broto por bandeja e o tempo de rebrota de cada novo propágulo em todas as unidades experimentais. O percentual de mudança na biomassa total, razão parte aérea:raiz e crescimento total das espécies foi calculado a partir da média dos valores antes (“pré fogo”) e após (“pós fogo”) o fogo para ambas as espécies, a nível de propágulo e a nível de bandeja (soma das respostas de todos os indivíduos de uma mesma unidade experimental).

2.6 ANÁLISE DE DADOS

Para testar se o tempo de brotamento e o número de brotos por propágulo (variáveis resposta) diferem entre a espécie introduzida e invasora foram utilizados dois Modelos Lineares Generalizados (GLM), um para cada variável resposta, com distribuição Poisson e função de ligação logarítmica. As espécies (dois níveis: *Urochloa arrecta* e *Hemarthria altissima*) foram utilizadas como variável preditora. De forma análoga, para testar se o tempo de rebrota após o fogo diferiu entre as espécies foi utilizado um GLM com distribuição Poisson e função de ligação logarítmica, sendo a variável preditora “espécies” e a variável resposta “tempo de rebrota”.

Para testar se a produção e a alocação de biomassa diferem entre a espécie introduzida e invasora antes e depois da ocorrência do fogo, as análises foram feitas utilizando dois GLMs com distribuição Gamma e função de ligação logarítmica. As espécies (dois níveis: *Urochloa arrecta* e *Hemarthria altissima*) e o distúrbio do fogo (dois níveis: “pré fogo” e “pós fogo”) foram utilizados como variáveis preditoras, enquanto a “biomassa total” e a “razão parte

aérea:raiz” foram as variáveis resposta. As análises foram realizadas a nível de propágulo, utilizando-se as medidas para cada indivíduo separadamente, e a nível de bandeja, utilizando-se as medidas de todos os indivíduos de uma mesma unidade experimental.

Para testar se o comprimento da parte aérea difere entre a espécie introduzida e invasora antes e após o distúrbio do fogo, foi utilizado um GLM com distribuição Gamma e função de ligação log. As espécies e o distúrbio do fogo foram utilizados como variáveis preditoras, enquanto o “comprimento” foi a variável resposta. As análises estatísticas e os gráficos foram realizados no software R (R Core Team, 2023).

3 RESULTADOS

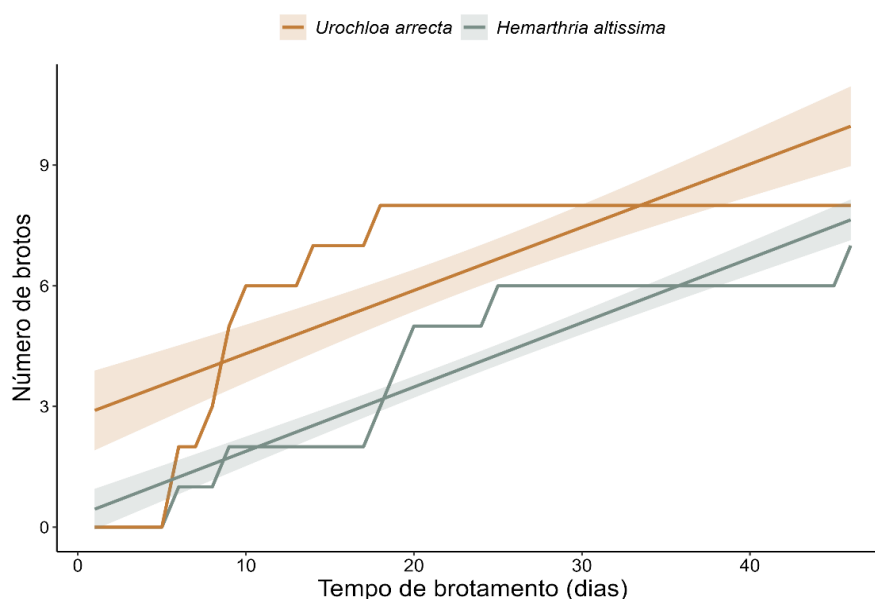
3.1 EXPERIMENTO 1: TEMPO DE BROTAMENTO

O tempo de brotamento de *Urochloa arrecta* foi significativamente menor que o de *Hemarthria altissima* (Tabela 1). *Urochloa arrecta* teve uma taxa de brotamento de 80% e todos os indivíduos brotaram em menos de 20 dias ($10 \pm 4,11$), enquanto *Hemarthria altissima* registrou uma taxa de brotamento de 70% e os indivíduos tiveram um tempo de brotamento maior e com mais variabilidade ($20,4 \pm 13,0$). O número de brotos produzidos por cada indivíduo não diferiu estatisticamente entre *Hemarthria altissima* e *Urochloa arrecta*, sendo similar entre as duas espécies (*Hemarthria altissima*: $1 \pm 0,77$; *Urochloa arrecta*: $1,1 \pm 0,73$; Tabela 1; Figura 3).

Tabela 1. Resultados do Modelo Linear Generalizado com as variáveis “tempo de brotamento” e “número de brotos” para *Urochloa arrecta* e *Hemarthria altissima* sem ocorrência do fogo.

Variável	Fator	Estimativa	χ^2	gl	Valor de P	
Tempo de brotamento	Identidade da espécie	-0.71435	27.449	1	< 0,001	***
Número de brotos	Identidade da espécie	-0.03822	0.007647	1	0.9303	

Figura 3. Tempo de brotamento e número de brotos de *Urochloa arrecta* e *Hemarthria altissima* sem a aplicação de fogo.



Fonte: elaborado pela autora.

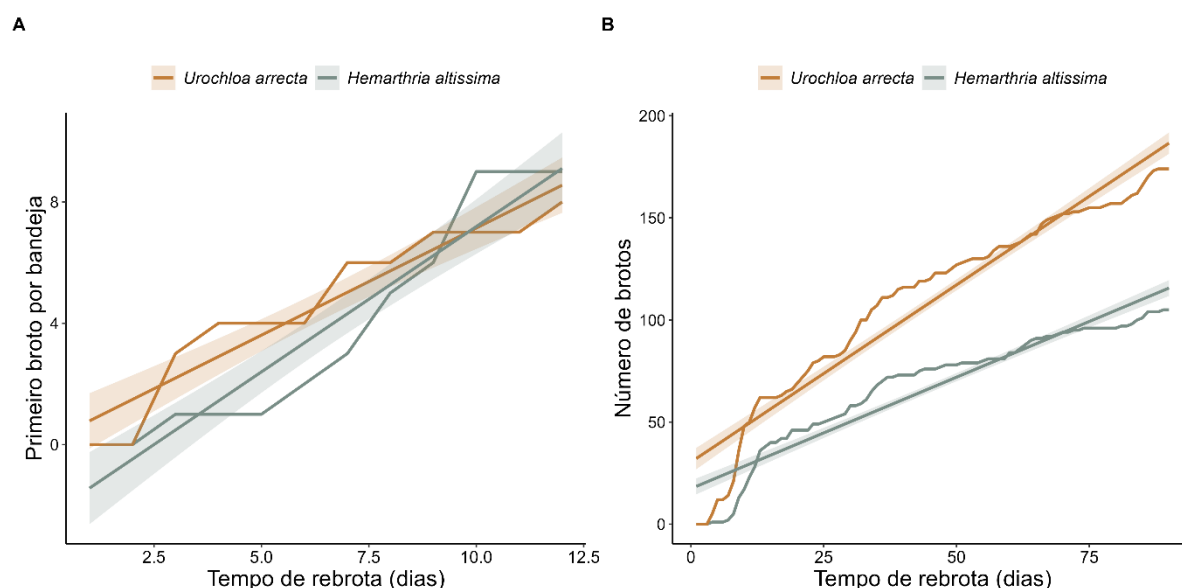
3.2 EXPERIMENTO 2: RESPOSTAS DAS ESPÉCIES AO FOGO

O tempo de rebrota do primeiro indivíduo de cada unidade experimental após o fogo de *Urochloa arrecta* foi significativamente menor que o de *Hemarthria altissima* (Tabela 2). A proporção de rebrota foi de 161% para *Urochloa arrecta* e 96% para *Hemarthria altissima* (Tabela 2).

Tabela 2. Resultados do GLM com as variáveis “primeiro broto por unidade experimental” e “número de brotos” para *Urochloa arrecta* e *Hemarthria altissima* após a aplicação do fogo.

Variável	Fator	Estimativa	χ^2	gl	Valor de <i>P</i>	
Primeiro broto por unidade experimental	Identidade da espécie	0.6646	21,862	1	< 0,001	***
Número de brotos	Identidade da espécie	0.51466	17,817	1	< 0,001	***

Figura 4. Tempo (em dias) até a rebrota após a aplicação do fogo de *Urochloa arrecta* e *Hemarthria altissima*, destacando o tempo até a formação do primeiro broto na unidade experimental (A) e o número total de brotos por espécie (B).



Fonte: elaborado pela autora.

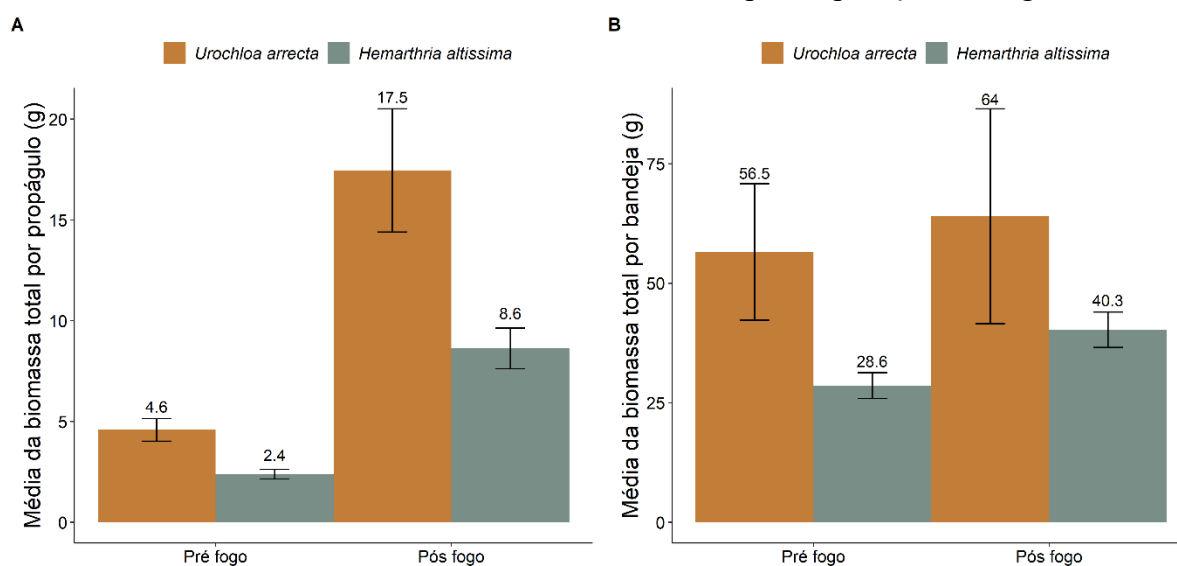
A biomassa total de *Urochloa arrecta* e *Hemarthria altissima* foi medida a nível de propágulo e a nível de bandeja (por unidade experimental). A nível de propágulo, a biomassa total de *Urochloa arrecta* foi maior que de *Hemarthria altissima* e ambas as espécies produziram mais biomassa após o fogo. A interação entre os fatores “espécie” e “fogo” determinando a biomassa a nível de propágulo não foi significativa (Tabela 3). O aumento percentual na biomassa total dos propágulos após o fogo foi de 262% para *Hemarthria altissima* e 293% para *Urochloa arrecta*. A nível de bandeja, a biomassa total das unidades experimentais de *Urochloa arrecta* foi maior que de *Hemarthria altissima*, entretanto a biomassa das espécies produzida antes do fogo não diferiu daquela produzida após o fogo e não foi observada interação entre a identidade da planta e o tempo (antes e depois do fogo; Tabela 3). O aumento percentual na biomassa total das unidades experimentais após o fogo foi de 13% para *Urochloa arrecta* e 40% para *Hemarthria altissima*.

Tabela 3. Resultados do GLM com a variável “biomassa total” de *Urochloa arrecta* e *Hemarthria altissima* após a aplicação do fogo, a nível de propágulo e bandeja.

Nível	Fator	Estimativa	χ^2	gl	Valor de <i>P</i>	
Propágulo	Identidade da espécie	0,73543	29,384	1	< 0,001	***
	Tempo: pré fogo	-1,28753	100,568	1	< 0,001	***

	Interação espécie:fogo	-0,08071	0,099	1	0,753	
	Identidade da espécie	0,5813	5,5692	1	< 0,1	*
Bandeja	Tempo: pré fogo	-0,3431	0,9581	1	0,32	
	Interação espécie:fogo	0,1008	0,0298	1	0,86	

Figura 5. Média da biomassa total a nível de propágulo (A) e a nível de bandeja (B) de *Urochloa arrecta* e *Hemarthria altissima* antes e após a aplicação do fogo.



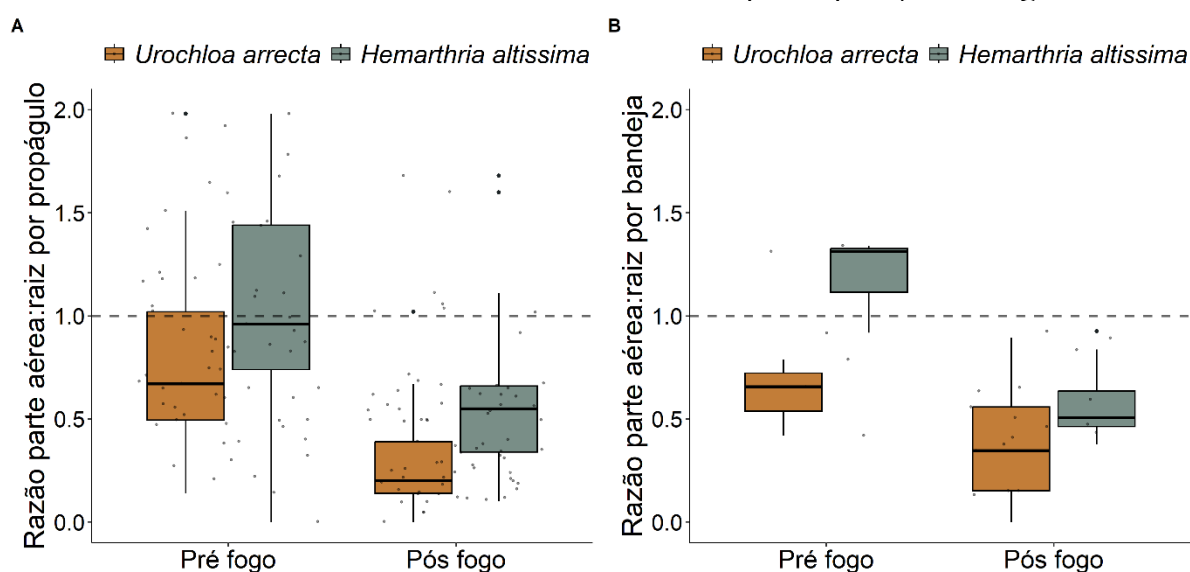
Fonte: elaborado pela autora.

A razão parte aérea:raiz de *Urochloa arrecta* e *Hemarthria altissima* também foi avaliada a nível de propágulo e a nível de bandeja. A nível de propágulo, *Urochloa arrecta* alocou mais recursos nas raízes em comparação à *Hemarthria altissima*. Ambas as espécies apresentaram uma razão parte aérea:raiz maior antes do fogo e não houve interação significativa dos fatores “espécie” e “fogo” (Tabela 4). A nível de propágulo, *Urochloa arrecta* apresentou uma redução de 72% na razão parte aérea:raiz após o fogo, enquanto para *Hemarthria altissima* a redução foi de 62%. A nível de bandeja, as unidades experimentais de *Urochloa arrecta* apresentaram uma razão parte aérea:raiz menor em comparação à *Hemarthria altissima* e tanto a planta invasora quanto a planta introduzida modificaram a alocação de biomassa após o fogo, não apresentando diferença quanto à interação dos fatores (Tabela 4). Ambas as espécies alocaram mais biomassa nas raízes após o fogo, representado pela redução na razão parte aérea:raiz de 42% para *Urochloa arrecta* e 51% para *Hemarthria altissima* a nível de bandeja.

Tabela 4. Resultados do GLM com a variável “razão parte aérea:raiz” de *Urochloa arrecta* e *Hemarthria altissima* após a aplicação do fogo, a nível de propágulo e bandeja.

Nível	Fator	Estimativa	χ^2	gl	Valor de <i>P</i>	
Propágulo	Identidade da espécie	-0,7912	8,6061	1	< 0,01	**
	Tempo: pré fogo	1,0107	25,5449	1	< 0,001	***
	Interação espécie:fogo	0,2697	0,3773	1	0,53905	
Bandeja	Identidade da espécie	-0,3466	4,6412	1	< 0,05	*
	Tempo: pré fogo	0,7128	7,0559	1	< 0,01	**
	Interação espécie:fogo	-0,3027	0,4598	1	0,49772	

Figura 6. Razão parte aérea:raiz a nível de propágulo (A) e a nível de bandeja (B) de *Urochloa arrecta* e *Hemarthria altissima* antes e após a aplicação do fogo.



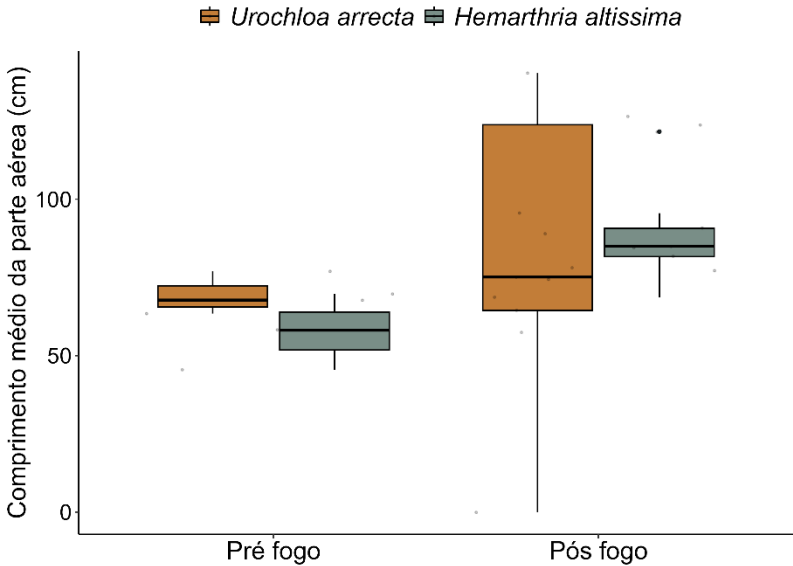
Fonte: elaborado pela autora.

O comprimento da parte aérea não diferiu estatisticamente entre as espécies, mas diferiu entre os momentos “pré fogo” e “pós fogo”, embora essa diferença tenha sido semelhante nas duas espécies (Tabela 5). Ambas as espécies apresentaram maior comprimento da parte aérea após o fogo, com um percentual de aumento de 33% para *Urochloa arrecta* e de 52% para *Hemarthria altissima*.

Tabela 5. Resultados do GLM com a variável “comprimento da parte aérea” de *Urochloa arrecta* e *Hemarthria altissima* após o fogo.

Fator	Estimativa	χ^2	gl	Valor de P
Identidade da espécie	0,04754	0,6317	1	0,426739
Tempo: pré fogo	-0,42293	8,4561	1	< 0,01 **
Interação espécie:fogo	0,13498	0,3241	1	0,569151

Figura 7. Comprimento médio da parte aérea (cm) a nível de bandeja de *Urochloa arrecta* e *Hemarthria altissima* antes e após a aplicação do fogo.



Fonte: elaborado pela autora.

4 DISCUSSÃO

O presente estudo simulou a ocorrência de fogo e avaliou o tempo de rebrota e o crescimento de uma espécie exótica invasora e uma espécie exótica introduzida. Os resultados revelam que a espécie exótica invasora *Urochloa arrecta* possui maior capacidade regenerativa após o fogo do que a espécie introduzida *Hemarthria altissima*. A invasora apresentou maior capacidade de rebrota após o fogo, produzindo mais brotos em relação à espécie introduzida, como demonstrado para uma espécie do mesmo gênero após incêndios no Cerrado brasileiro (Rosalem *et al.*, 2024). Tais resultados indicam que o distúrbio provocado pelo fogo pode promover um rebrote acelerado *Urochloa arrecta*, o que é preocupante frente a um contexto de

mudanças climáticas globais e aumento no número e na intensidade de incêndios em muitas partes do mundo.

A capacidade de reprodução vegetativa a partir de fragmentos com nós de *Urochloa arrecta* aparenta ser maior do que a de *Hemarthria altissima* em condições naturais, isto é, sem o distúrbio do fogo. Os indivíduos da espécie exótica invasora desenvolveram brotos, em média, após 10 dias, enquanto a espécie introduzida teve tempo de brotamento médio de 20 dias. A literatura aponta que *Urochloa arrecta* possui alta capacidade de regeneração mesmo após condições adversas, como secas extremas (Leal *et al.*, 2022). *Hemarthria altissima*, apesar de apresentar resiliência a estresses como geadas e alagamentos (Newman *et al.*, 2009; Niu *et al.*, 2024), aparenta levar mais tempo para desenvolver novos brotos a partir de fragmentos em condições similares. A reprodução vegetativa parece ser uma estratégia comum entre espécies de gramíneas invasoras (Sánchez; Sánchez; Navarro, 2019), permitindo a expansão de populações a partir de poucos eventos de introdução (Diamante *et al.*, 2020; Scorsim *et al.*, 2023). Uma maior letargia para a rebrota de espécies introduzidas em áreas sujeitas a ocorrência do fogo pode permitir que espécies exóticas invasoras, tais como *Urochloa arrecta*, apresentem maior vantagem competitiva nestes ambientes por produzirem mais biomassa após o distúrbio. Adicionalmente, estudos futuros podem investigar o potencial de invasão de *Hemarthria altissima* frente a distúrbios como o fogo e avaliar se a espécie deve ter sua expansão monitorada.

Os indivíduos de *Urochloa arrecta* também apresentaram maior produção de brotos após o fogo em comparação com *Hemarthria altissima*. *Urochloa arrecta* aumentou sua cobertura dentro das unidades experimentais após o distúrbio, reproduzindo-se vegetativamente e contabilizando mais brotos após o fim do experimento em comparação ao início. O investimento na reprodução vegetativa para recolonização da comunidade de plantas é uma estratégia adaptativa comum em espécies de Poaceae (Linder *et al.*, 2017; Vítová; Macek; Lepš, 2017) e tal estratégia pode ser eficiente após a ocorrência de distúrbios como o fogo. A queima da biomassa vegetal resulta na modificação das condições abióticas do solo, mobilizando e disponibilizando nutrientes que podem ser aproveitados por espécies oportunistas na recolonização da comunidade (Blank; ClementsTye; Harmon, 2017; Caon *et al.*, 2014; Davis; Grime; Thompson, 2000). Gramíneas no geral apresentam boa recuperação após o fogo (Moore; Camac; Morgan, 2019; Pilon *et al.*, 2021) e essa capacidade regenerativa em conjunto com outros traços que favorecem a recolonização da comunidade, frequentemente encontrados em espécies exóticas invasoras, conferem uma vantagem competitiva sobre as demais espécies

nesse ambiente pós-distúrbio (Christensen *et al.*, 2019). Compreender as diferenças funcionais e competitivas entre gramíneas exóticas e exóticas invasoras em relação às suas tolerâncias aos fatores ambientais e em resposta à distúrbios como o fogo pode ajudar a preencher lacunas no entendimento sobre espécies introduzidas e sobre quais fatores podem leva-las a se tornar invasoras.

A espécie invasora produziu mais biomassa que a espécie introduzida tanto antes do fogo quanto depois, potencialmente indicando maior capacidade competitiva para *Urochloa arrecta* (Michelan *et al.*, 2018). Ambas as espécies produziram mais biomassa após o fogo, demonstrando uma resposta rápida à perturbação (Jensen; Michelsen; Gashaw, 2001; Liu *et al.*, 2019). Apesar disso, a espécie introduzida apresentou um aumento percentual de biomassa após o fogo maior que a invasora (40% e 13%, respectivamente), o que indica uma boa capacidade de resiliência a esse distúrbio. Muitas gramíneas possuem uma história evolutiva intrinsecamente relacionada ao distúrbio do fogo, que age promovendo a renovação da biomassa vegetal e, em alguns casos, a germinação de sementes (Cuello; López-Mársico; Rodríguez, 2020). Em especial, gramíneas do tipo fotossintético C4, como ambas as espécies tratadas neste estudo, normalmente são bem adaptadas ao fogo (Edwards *et al.*, 2010). O efeito do fogo sobre a germinação das sementes destas duas espécies não é conhecido, mas os resultados desse trabalho indicam que o fogo induz a regeneração e promove a produção de biomassa para *Urochloa arrecta* e *Hemarthria altissima*. A queima da biomassa vegetal por incêndios de intensidade baixa ou moderada resulta na deposição de cinzas sobre o solo, que podem agir como fertilizantes por possuírem em sua composição elementos como carbono e nitrogênio (Bodí *et al.*, 2014), nutrientes limitantes ao crescimento vegetal. Entretanto, as diferenças no aumento percentual da biomassa das espécies a nível de propágulo evidenciam que a variabilidade nas respostas de *Urochloa arrecta* (293%) é maior que em *Hemarthria altissima* (262%). Em média, os indivíduos da espécie introduzida responderam de forma similar quando observados os valores de biomassa de propágulo e por bandeja, demonstrando pouca variação nas respostas entre os organismos desta espécie. *Urochloa arrecta*, por outro lado, demonstrou alta variação nas respostas, com alguns indivíduos produzindo grandes quantidades de biomassa e, muitas vezes, dominando a unidade experimental. Tais indivíduos de *Urochloa arrecta* provavelmente foram os responsáveis por produzir grande quantidade de brotos adicionais, evidenciado pelo maior número de brotos da espécie invasora após o fogo em comparação à quantidade inicial plantada em cada unidade experimental. O mesmo foi observado para uma espécie de gramínea invasora em ambiente aquático na África do Sul

(Mugwedi *et al.*, 2015). A maior produção de brotos implica na maior formação de propágulos vegetativos, o que aumenta o potencial invasor da espécie por garantir uma maior pressão de propágulos (Simberloff, 2009). Os valores de biomassa após o fogo terem sido maiores para *Urochloa arrecta* do que para a espécie introduzida indicam que a invasora pode ter uma estratégia mais eficiente, sendo capaz de aproveitar melhor os nutrientes disponíveis e transformá-los em biomassa e crescimento de maneira mais rápida (Pilon *et al.*, 2021). O melhor aproveitamento dos nutrientes do solo por *Urochloa arrecta* pode estar relacionado às estratégias de alocação de biomassa das duas espécies.

Urochloa arrecta demonstrou alocar mais recursos nas raízes, enquanto *Hemarthria altissima* prioriza a parte aérea em situações naturais, sem fogo. Ambas as espécies apresentaram maior alocação de biomassa nas raízes após o fogo, uma estratégia comum em espécies sujeitas a esse tipo de distúrbio (Clarke *et al.*, 2013; Magaña-Hernández *et al.*, 2020; Pilon *et al.*, 2021). Devido a essas diferenças de alocação de biomassa antes do fogo, a redução na razão parte aérea:raiz de *H. altissima* foi mais acentuada que a da espécie invasora. Tanto a espécie introduzida quanto a invasora apresentaram heterogeneidade nas respostas a nível de propágulo para a alocação de biomassa, demonstrado pela variabilidade na resposta dentre os indivíduos do mesmo tratamento. A heterogeneidade de respostas entre os propágulos, mais acentuada em *Urochloa arrecta*, pode ser um dos fatores que explicam o bom desempenho desta espécie após distúrbios, como demonstrado por estudos experimentais e em campo (Carrara *et al.*, 2024; Leal *et al.*, 2022; Rosalem *et al.*, 2024; Santini *et al.*, 2022). *Hemarthria altissima* tende a alocar mais biomassa na parte aérea, especialmente no período de crescimento antes do distúrbio, e modifica a alocação após o fogo, provavelmente para absorver mais nutrientes do solo nesse estágio de regeneração. A espécie invasora adota a estratégia oposta, alocando mais recursos nas raízes mesmo antes do distúrbio. O maior investimento nos tecidos subterrâneos provavelmente confere uma vantagem competitiva nessas condições, de forma que espécies com tendência a priorizar as raízes têm um aproveitamento de recursos mais eficiente e recuperação mais rápida após o distúrbio (Klimesřová; Klimeř, 2007; Pausas *et al.*, 2018). A persistência de estruturas subterrâneas confere vantagem no crescimento e produção de biomassa após o distúrbio, permitindo o aproveitamento dos recursos no solo e da incidência de luz sobre o ambiente, estratégia comumente utilizada por espécies adaptadas a distúrbios frequentes (Clarke *et al.*, 2013; Fidelis *et al.*, 2014). Gramíneas com capacidade de rebrota após o fogo sobrevivem a diferentes frequências de fogo, enquanto espécies que priorizam a germinação possuem vantagem em regimes de fogo com menor intensidade e maior frequência

(Day, 2021). Logo, em um cenário de ocorrências de fogo cada vez mais intensas e de frequência variada, espécies que adotam a estratégia de rebrota podem ter sua expansão facilitada. Em ambientes normalmente não-sujeitos ao fogo frequente, como a vegetação de áreas úmidas, a capacidade de rebrota deve ser mais importante do que a quebra de dormência das sementes pelo fogo.

Ambas as espécies apresentaram maior comprimento da parte aérea após o fogo, sendo o crescimento similar para *Urochloa arrecta* e *Hemarthria altissima* apesar das diferenças observadas nas outras variáveis. A maior quantidade de biomassa alocada nas raízes provavelmente permitiu melhor aproveitamento dos recursos disponíveis no solo pelas espécies. O rápido desenvolvimento de tecidos aéreos possivelmente confere vantagem na recolonização do ambiente devido ao maior acesso à irradiação solar, que poderia potencializar a fotossíntese e o próprio crescimento da planta. Assim como nas demais respostas, vemos grande variação no crescimento entre os indivíduos de *Urochloa arrecta*. A eficiência no uso de recursos frequentemente favorece o sucesso de espécies exóticas invasoras (Ens *et al.*, 2015; Liu *et al.*, 2015) e esse indicativo de plasticidade fenotípica pode conferir melhor aproveitamento dos recursos por *Urochloa arrecta* no ambiente pós-fogo, especialmente se o incêndio for seguido por um período de precipitação intensa (van Blerk *et al.*, 2021).

Os efeitos de um evento de fogo sobre uma comunidade irão depender do tipo de ecossistema afetado, bem como de características intrínsecas ao regime de fogo como sua frequência, intensidade, extensão, tipo e sazonalidade (Brooks *et al.*, 2004). As mudanças climáticas ocasionadas por ação antrópica vêm modificando os padrões de precipitação e, consequentemente, de ocorrência e frequência de incêndios ao redor do mundo (Trenberth, 2011; Zeng *et al.*, 2023). Mudanças no regime de fogo afetam as comunidades vegetais mesmo em ecossistemas dependentes do fogo, que possuem uma história evolutiva marcada pela presença desse distúrbio (Kiel; Brazian; Turner, 2023; Nolan *et al.*, 2021). No caso de ecossistemas considerados sensíveis ao fogo, isto é, que não apresentam um regime de fogo definido e, portanto, pouco são atingidos com essa perturbação, as consequências para as espécies vegetais tendem a ser mais intensas (Brando *et al.*, 2020). Esse é o caso da vegetação de áreas úmidas e ripárias ao longo dos cursos de água continentais, frequentemente compostas por espécies de gramíneas adaptadas a banhados e alagados, e que se tornam cada vez mais suscetíveis à ocorrência de incêndios. As duas espécies avaliadas neste estudo, *Urochloa arrecta* e *Hemarthria altissima*, além de possuírem tolerância à fatores como alagamento e seca (Della *et al.*, 2018, Michelan *et al.*, 2010b), se mostraram também tolerantes ao fogo.

O aumento na frequência de ocorrências de fogo pode promover maior sucesso no estabelecimento de espécies exóticas invasoras (Giles *et al.*, 2024; Guarino *et al.*, 2024). O ambiente pós fogo torna-se um local ideal para a o rebrote de espécies oportunistas, que possuem traços favoráveis para a exploração rápida de recursos (Davis; Grime; Thompson, 2000). Logo, espécies exóticas introduzidas, como *Hemarthria altissima*, devem ter seu potencial de invasão investigado frente à ocorrência de fogo. Os resultados deste trabalho destacam como as respostas individuais das espécies frente ao fogo pode ser uma importante ferramenta para identificar locais prioritários de monitoramento ou controle de introduções de espécies exóticas, cuja ocorrência muitas vezes é facilitada pelo fogo, um distúrbio cada vez mais frequente em decorrência das mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

- ABATZOGLOU, J. T.; WILLIAMS, A. P.; BARBERO, R. Global Emergence of Anthropogenic Climate Change in Fire Weather Indices. **Geophysical Research Letters**, Moscow, v. 46, n. 1, p. 326–336, 2019.
- ABRAHAM, J.; DOWLING, K.; FLORENTINE, S. Risk of post-fire metal mobilization into surface water resources: A review. **Science of The Total Environment**, Mount Heler, v. 599–600, p. 1740–1755, 2017.
- ALVES, R.M.A.; ALBUQUERQUE, M.B.; BARBOSA, L.G. STATUS OF THE INVASION OF A POACEAE SPECIES IN TROPICAL SEMIARID RESERVOIRS. **Planta Daninha**, Paraíba, v. 35, n. 0, 2017.
- FUSCO, E. J. *et al.* The human–grass–fire cycle: how people and invasives co-occur to drive fire regimes. **Frontiers in Ecology and the Environment**, Amherst, v. 20, n. 2, p. 117–126, 2022.
- ARKLE, R. S.; PILLIOD, D. S. Prescribed fires as ecological surrogates for wildfires: A stream and riparian perspective. **Forest Ecology and Management**, Boise, v. 259, n. 5, p. 893–903, 2010.
- BANDO, F. M. *et al.* Invasion by an exotic grass species homogenizes native freshwater plant communities. **Journal of Ecology**, Belém, v. 111, n. 4, p. 799–813, 2023.
- BANDO, F. M.; MICHELAN, T. S.; THOMAZ, S. M. Propagule success of an invasive Poaceae depends on size of parental plants. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Maringá, v. 28, n. 0, 2016.
- BILLINGS, W. D. Ecological impacts of cheatgrass and resultant fire on ecosystems in the western great basin. Durham, p. 22-30, 1992.

BLANK, R. R.; CLEMENTSTYE, C.; HARMON, M. Sagebrush Wildfire Effects on Surface Soil Nutrient Availability: A Temporal and Spatial Study. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 81, n. 5, p. 1203–1210, 2017.

BODÍ, M. B. *et al.* Wildland fire ash: Production, composition and eco-hydro-geomorphic effects. **Earth-Science Reviews**, Antwerpen, v. 130, p. 103–127, 2014.

BORA, L. S.; THOMAZ, S. M.; PADIAL, A. A. Evidence of rapid evolution of an invasive poaceae in response to salinity. **Aquatic Sciences**, Maringá, v. 82, n. 4, p. 1–16, 2020.

BRANDO, P. *et al.* Amazon wildfires: Scenes from a foreseeable disaster. **Flora**, Irvine, v. 268, p. 151609, 2020.

BROOKS, M. *et al.* Effects of Invasive Alien Plants on Fire Regimes. **BioScience**, Henderson, v. 54, n.7, p.677, 2004.

BUNN, S. E. *et al.* Influence of invasive macrophytes on channel morphology and hydrology in an open tropical lowland stream, and potential control by riparian shading. **Freshwater Biology**, Queensland, v. 39, n. 1, p. 171–178, 1998.

CAON, L. *et al.* Effects of wildfire on soil nutrients in Mediterranean ecosystems. **Earth-Science Reviews**, Wageningen, v. 139, p. 47–58, 2014.

CARNIATTO, N. *et al.* Effects of an Invasive Alien Poaceae on Aquatic Macrophytes and Fish Communities in a Neotropical Reservoir. **Biotropica**, Maringá, v. 45, n. 6, p. 747–754, 2013.

CARRARA, L. *et al.* Tolerance to drought and flooding events provides a competitive advantage for an invasive over a native plant species. **Freshwater Biology**, Maringá, v. 69, n. 3, p. 425–434, 2024.

CCA. Fazenda Experimental da Ressacada. **Descrição Física e Ambiental**. Disponível em: <https://fazenda.ufsc.br/descricao-fisica/>. Acesso em: 27 set. 2023.

CHRISTENSEN, B. *et al.* Fire disturbance favours exotic species at Kaituna Wetland, Bay of Plenty. **New Zealand Journal of Ecology**, Rotorua, v. 43, n. 2, 2019.

CLARKE, P. J. *et al.* Resprouting as a key functional trait: how buds, protection and resources drive persistence after fire. **New Phytologist**, Armidale, v. 197, n. 1, p. 19–35, 2013.

CUELLO, N.; LÓPEZ-MÁRSICO, L.; RODRÍGUEZ, C. Field burn versus fire-related cues: germination from the soil seed bank of a South American temperate grassland. **Seed Science Research**, Montevideu, v. 30, n. 3, p. 206–214, 2020.

DAVID, P. *et al.* Impacts of Invasive Species on Food Webs. In: **ADVANCES IN ECOLOGICAL RESEARCH**. Montpellier: Elsevier, 2017. v. 56, p. 1–60.

DAVIS, M. A.; GRIME, J. P.; THOMPSON, K. Fluctuating resources in plant communities: a general theory of invasibility. **Journal of Ecology**, Saint Paul, v. 88, n. 3, p. 528–534, 2000.

DAY, N. J. When do grasses resprout after fire?. **New Phytologist**, Aotearoa, v. 230, n. 2, p. 406–407, 2021.

DELLA, A. P. *et al.* Florística e fitossociologia de um campo pastejado na Fazenda Experimental da Ressacada, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. **R. bras. Bioci.**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 1–10, 2018.

DIAMANTE, N. A. *et al.* Molecular analysis of the invasive populations of *Urochloa* (Poaceae) in a large Neotropical reservoir. **Aquatic Botany**, Maringá, v. 161, p. 103183, 2020.

DOUGLAS, M. M. *et al.* The impact of fire on riparian vegetation in Australia's tropical savanna. **Freshwater Science**, Crawley, v. 34, n. 4, p. 1351–1365, 2015.

EDWARDS, E. J. *et al.* The Origins of C4 Grasslands: Integrating Evolutionary and Ecosystem Science. **Science**, Providence, v. 328, n. 5978, p. 587–591, 2010.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

ENRIGHT, N. J. *et al.* Resistance and resilience to changing climate and fire regime depend on plant functional traits. **Journal of Ecology**, Perth, v. 102, n. 6, p. 1572–1581, 2014.

ENS, E. *et al.* Resource-use efficiency explains grassy weed invasion in a low-resource savanna in north Australia. **Frontiers in Plant Science**, Darwin, v. 6, 2015.

ESCOBEDO, V. M. *et al.* Disturbance reinforces community assembly processes differentially across spatial scales. **ANNALS OF BOTANY**, La Serena, v. 127, n. 2, p. 175–189, 2021.

EVANGELISTA, H. B. *et al.* Shade provided by riparian plants and biotic resistance by macrophytes reduce the establishment of an invasive Poaceae. **Journal of Applied Ecology**, Maringá, v. 54, n. 2, p. 648–656, 2017.

FARES, A. L. B.; NONATO, F. A. da S.; MICHELAN, T. S. New records of the invasive macrophyte, *Urochloa arrecta* extend its range to eastern Brazilian Amazon altered freshwater ecosystems. **Acta Amazonica**, Belém, v. 50, p. 133–137, 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**, Maringá, v. 27, p. 165–170, 2015.

FERNANDES, L. F. G.; TEIXEIRA, M. C.; THOMAZ, S. M. Diversity and biomass of native macrophytes are negatively related to dominance of an invasive Poaceae in Brazilian subtropical streams. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Maringá, v. 25, p. 202–209, 2013.

FIDELIS, A. *et al.* Does disturbance affect bud bank size and belowground structures diversity in Brazilian subtropical grasslands?. **Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, Freising, v. 209, n. 2, p. 110–116, 2014.

FONTENELE, H. G. V.; MIRANDA, H. S. Fire has contrasting effects on the survival, growth, and reproduction of Cerrado grasses with differing regenerative strategies. **Applied Vegetation Science**, Brasília, v. 27, n. 2, p. e12775, 2024.

GILES, A. L. *et al.* Fire triggers reestablishment of invasive grasses in a neotropical savanna under restoration. **Restoration Ecology**, Florianópolis, v. n/a, n. n/a, p. e14295, 2024.

- GUARINO, R. *et al.* Remote sensing reveals fire-driven enhancement of a C₄ invasive alien grass on a small Mediterranean volcanic island. **Biogeosciences**, Palermo, v. 21, n. 11, p. 2717–2730, 2024.
- GRAU-ANDRÉS, R.; MOREIRA, B.; PAUSAS, J. G. Global plant responses to intensified fire regimes. **Global Ecology and Biogeography**, Valencia, v. 33, n. 8, p. e13858, 2024.
- HEUVEL, E. van den; VELDKAMP, J. F. Revision of Hemarthria (Gramineae-Andropogoneae-Rottboelliinae). **Blumea**. Gent, v. 45, p. 443–475, 2000.
- JAUNI, M.; GRIPENBERG, S.; RAMULA, S. Non-native plant species benefit from disturbance: a meta-analysis. **Oikos**, Turku, v. 124, n. 2, p. 122–129, 2015.
- JENSEN, M.; MICHELSEN, A.; GASHAW, M. Responses in plant, soil inorganic and microbial nutrient pools to experimental fire, ash and biomass addition in a woodland savanna. **Oecologia**, Copenhagen, v. 128, n. 1, p. 85–93, 2001.
- KEDDY, P. A. Assembly and response rules: two goals for predictive community ecology. **Journal of Vegetation Science**, Ontario, v. 3, n. 2, p. 157–164, 1992.
- KIEL, N. G.; BRAZIUNAS, K. H.; TURNER, M. G. Peeking under the canopy: anomalously short fire-return intervals alter subalpine forest understory plant communities. **New Phytologist**, Madison, v. 239, n. 4, p. 1225–1238, 2023.
- KLIMESŔOVÁ, J.; KLIMEŠ, L. Bud banks and their role in vegetative regeneration – A literature review and proposal for simple classification and assessment. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, Zurich, v. 8, n. 3, p. 115–129, 2007.
- LAKE, J. C.; LEISHMAN, M. R. Invasion success of exotic plants in natural ecosystems: the role of disturbance, plant attributes and freedom from herbivores. **Biological Conservation**, Sydney, v. 117, n. 2, p. 215–226, 2004.
- LEAL, R. P. *et al.* The success of an invasive Poaceae explained by drought resilience but not by higher competitive ability. **Environmental and Experimental Botany**, Maringá, v. 194, p. 104717, 2022.
- LI, J. *et al.* Spatiotemporal variability of fire effects on soil carbon and nitrogen: A global meta-analysis. **Global Change Biology**, Shanghai, v. 27, n. 17, p. 4196–4206, 2021.
- LINDER, H. P. *et al.* Global grass (Poaceae) success underpinned by traits facilitating colonization, persistence and habitat transformation. **Biological Reviews**, Zurich, v. 93, n. 2, p. 1125–1144, 2018.
- LIU, S. *et al.* High resource-capture and -use efficiency, and effective antioxidant protection contribute to the invasiveness of *Alnus formosana* plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, Sichuan, v. 96, p. 436–447, 2015.
- LIU, J. *et al.* Responses of plant biomass and nutrients to fire vary with functional group and slope aspect in a semiarid restored grassland on the Loess Plateau. **Journal of Arid Environments**, Yangling, v. 171, p. 104008, 2019.

LONSDALE, W. M. Global Patterns of Plant Invasions and the Concept of Invasibility. **Ecology**, Montferrier-sur-Lez, v. 80, n. 5, p. 1522–1536, 1999.

LÓPEZ-MÁRSICO, L.; LEZAMA, F.; ALTESOR, A. Heterogeneity decreases as time since fire increases in a South American grassland. **Applied Vegetation Science**, Montevideu, v. 24, n. 1, p. e12521, 2021.

MAGAÑA-HERNÁNDEZ, E. *et al.* Variation in plant belowground resource allocation across heterogeneous landscapes: implications for post-fire resprouting. **American Journal of Botany**, Jalisco, v. 107, n. 8, p. 1114–1121, 2020.

MARTINS, D. *et al.* Caracterização da comunidade de plantas aquáticas de dezoito reservatórios pertencentes a cinco bacias hidrográficas do Estado de São Paulo. **Planta Daninha**, Botucatu, v. 26, n. 1, p. 17–32, 2008.

MICHELAN, T. S. *et al.* Effects of an exotic invasive macrophyte (tropical signalgrass) on native plant community composition, species richness and functional diversity. **Freshwater Biology**, Maringá, v. 55, n. 6, p. 1315–1326, 2010a.

MICHELAN, T. S. *et al.* Regeneration and Colonization of an Invasive Macrophyte Grass in Response to Desiccation. **Natureza & Conservação**, Goiânia, v. 08, n. 02, p. 133–139, 2010b.

MICHELAN, T. S. *et al.* Competitive Effects Hinder the Recolonization of Native Species in Environments Densely Occupied by One Invasive Exotic Species. **Frontiers in Plant Science**, Maringá, v. 9, 2018.

MOORE, N. A.; CAMAC, J. S.; MORGAN, J. W. Effects of drought and fire on resprouting capacity of 52 temperate Australian perennial native grasses. **The New Phytologist**, Victoria, v. 221, n. 3, p. 1424–1433, 2019.

MUGWEDI, L. F. *et al.* Post-fire vegetative recruitment of the alien grass *Glyceria maxima* at a KwaZulu-Natal Midlands dam, South Africa. **AFRICAN JOURNAL OF AQUATIC SCIENCE**, Grahamstown, v. 40, n. 4, p. 443–445, 2015.

NEWMAN, Y. *et al.* Limpograss (*Hemarthria altissima*) Overview and Management: SSAGR320/AG330, 8/2009. **EDIS**, Gainesville, v. 2009, n. 7, 2009. NOLAN, Rachael H. *et al.* Limits to post-fire vegetation recovery under climate change. **Plant, Cell & Environment**, New South Wales, v. 44, n. 11, p. 3471–3489, 2021.

NIU, H. *et al.* Positive contribution of shoot apex to the growth and flooding tolerance of *Hemarthria altissima* upon complete submergence. **Journal of Plant Ecology**, Chongqing, v. 17, n. 5, p. rtac087, 2024.

PAUSAS, J. G. *et al.* Unearthing belowground bud banks in fire-prone ecosystems. **New Phytologist**, Valencia, v. 217, n. 4, p. 1435–1448, 2018.

PEARSON, D. E. *et al.* Community Assembly Theory as a Framework for Biological Invasions. **Trends in Ecology & Evolution**, Missoula, v. 33, n. 5, p. 313–325, 2018.

PILON, N. A. L. *et al.* The diversity of post-fire regeneration strategies in the cerrado ground layer. **Journal of Ecology**, Campinas, v. 109, n. 1, p. 154–166, 2021.

- POTT, V. J. *et al.* Aquatic macrophyte diversity of the Pantanal wetland and upper basin. **Brazilian Journal of Biology**, Campo Grande, v. 71, p. 255–263, 2011.
- PYŠEK, P.; RICHARDSON, D. M. Traits Associated with Invasiveness in Alien Plants: Where Do we Stand?. *In*: NENTWIG, Wolfgang (org.). **Biological Invasions**. Berlin, Heidelberg: Springer, 2007. p. 97–125.
- R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2023.
- ROSALEM, P. F. *et al.* Anatomical plasticity and starch allocation in an invasive grass in response to fire. **BRAZILIAN JOURNAL OF BOTANY**, São Paulo, v. 47, n. 3, p. 945–952, 2024.
- SÁNCHEZ, J. M.; SÁNCHEZ, C.; NAVARRO, L. Can asexual reproduction by plant fragments help to understand the invasion of the NW Iberian coast by *Spartina patens*? **Flora**, Vigo, v. 257, p. 151410, 2019.
- SANTINI, R. *et al.* Evaluation of growth and oxidative stress as indicative of salinity tolerance by the invasive tropical aquatic macrophyte tanner grass. **Hydrobiologia**, Jaboticabal, v. 849, n. 5, p. 1261–1271, 2022.
- SATO, R. Y.; COSTA, A. P. L.; PADIAL, A. A. The invasive tropical tanner grass decreases diversity of the native aquatic macrophyte community at two scales in a subtropical tidal river. **Acta Botanica Brasilica**, Curitiba, v. 35, n. 1, p. 140–150, 2021.
- SCORSIM, B. *et al.* *Urochloa arrecta*: an African invasive Poaceae in Brazil with low genetic diversity. **Biological Invasions**, Maringá, v. 25, n. 3, p. 863–872, 2023.
- SIMBERLOFF, D. The Role of Propagule Pressure in Biological Invasions. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, Knoxville, v. 40, n. 1, p. 81–102, 2009.
- SOSNOVÁ, M. *et al.* To resprout or not to resprout? Modeling population dynamics of a root-sprouting monocarpic plant under various disturbance regimes. **Plant Ecology**, Trebon, v. 215, n. 11, p. 1245–1254, 2014.
- THOMAZ, S. M. *et al.* Temporal trends and effects of diversity on occurrence of exotic macrophytes in a large reservoir. **Acta Oecologica**, Maringá, v. 35, n. 5, p. 614–620, 2009.
- THOMAZ, S. M.; MORMUL, R. P.; MICHELAN, T. S. Propagule pressure, invasibility of freshwater ecosystems by macrophytes and their ecological impacts: a review of tropical freshwater ecosystems. **Hydrobiologia**, Maringá, v. 746, n. 1, p. 39–59, 2015.
- TOLKIEN, J. R. R. **The Fellowship of the Ring**. London: HarperCollins, 1954. 531p.
- TRENBERTH, K. E. Changes in precipitation with climate change. **Climate Research**, Boulder, v. 47, n. 1–2, p. 123–138, 2011.
- VAN BLERK, J. J. *et al.* Does a trade-off between growth plasticity and resource conservatism mediate post-fire shrubland responses to rainfall seasonality?. **New Phytologist**, Rondebosch, v. 230, n. 4, p. 1407–1420, 2021.

VÍTOVÁ, A.; MACEK, P.r; LEPŠ, J. Disentangling the interplay of generative and vegetative propagation among different functional groups during gap colonization in meadows. **Functional Ecology**, Ceske Budejovice, v. 31, n. 2, p. 458–468, 2017.

WESTERLING, A. L.R. Increasing western US forest wildfire activity: sensitivity to changes in the timing of spring. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, Merced, v. 371, n. 1696, p. 20150178, 2016.

ZENG, Z. *et al.* Increasing meteorological drought under climate change reduces terrestrial ecosystem productivity and carbon storage. **One Earth**, Beijing, v. 6, n. 10, p. 1326–1339, 2023.

ZOUHAR, K.; SMITH, J. K.; SUTHERLAND, S. Chapter 2: Effects of fire on nonnative invasive plants and invasibility of wildland ecosystems. In: **Zouhar, Kristin; Smith, Jane Kapler; Sutherland, Steve; Brooks, Matthew L. Wildland fire in ecosystems: fire and nonnative invasive plants. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol. 6. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. p. 7-32, Ogden, v. 042, 2008.**