

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Efeito do fogo e do gado sobre a germinação e o estabelecimento de duas espécies do gênero *Dimorphandra* ameaçadas de extinção

Gabriela Brito Costa
Magister Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

GABRIELA BRITO COSTA

Efeito do fogo e do gado sobre a germinação e o estabelecimento de duas espécies do gênero *Dimorphandra* ameaçadas de extinção

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Joao Paulo de Souza

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade Federal de Viçosa - Campus Viçosa

T

Costa, Gabriela Brito, 1999-
C837e Efeito do fogo e do gado sobre a germinação e o
2025 estabelecimento de duas espécies do gênero *Dimorphandra*
ameaçadas de extinção / Gabriela Brito Costa. – Viçosa, MG,
2025.
1 dissertação eletrônica (36 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndice.
Orientador: João Paulo de Souza.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Biologia Geral, 2025.
Referências bibliográficas: f. 29-34.
DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.527>
Modo de acesso: World Wide Web.

1. *Dimorphandra*. 2. Germinação - Efeitos do fogo.
3. Germinação - Efeitos da excreção. 4. Mudanças climáticas.
5. Precipitação (Meteorologia). 6. Estudo de viabilidade.
I. Souza, João Paulo de, 1981-. II. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Biologia Geral. Programa de
Pós-Graduação em Ecologia. III. Título.

CDD 22. ed. 583.46

GABRIELA BRITO COSTA

Efeito do fogo e do gado sobre a germinação e o estabelecimento de duas espécies do gênero *Dimorphandra* ameaçadas de extinção

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 23 de julho de 2025.

Assentimento:

Gabriela Brito Costa
Autora

Joao Paulo de Souza
Orientador

Essa dissertação foi assinada digitalmente pela autora em 22/09/2025 às 16:37:08 e pelo orientador em 30/09/2025 às 06:40:54. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **ULW3.WCP1.CN59** e clique no botão 'Validar documento'.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o apoio das seguintes agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

RESUMO

COSTA, Gabriela Brito, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2025. **Efeito do fogo e do gado sobre a germinação e o estabelecimento de duas espécies do gênero *Dimorphandra* ameaçadas de extinção.** Orientador: Joao Paulo de Souza.

Dimorphandra exaltata e *D. wilsonii* são espécies vegetais ameaçadas de extinção e têm como ambiente de ocorrência a Mata Atlântica e o Cerrado, biomas que sofrem com ações antrópicas como incêndio e a pecuária, o que intensifica a degradação ambiental. O objetivo deste trabalho foi o de investigar a influência do fogo e da passagem das sementes de *D. exaltata* e *D. wilsonii* pelo trato digestivo do gado sobre a germinação e o estabelecimento dessas espécies vegetais, visando futuros planos de manejo e conservação. Foram realizados quatro experimentos: 1) Germinação em placas fecais com sementes que passaram ou não pelo trato digestivo bovino, com irrigação natural ou diária, 2) Germinação controle em incubadora do tipo B.O.D. com sementes escarificadas manualmente, sem escarificação e após passagem pelo trato digestivo dos bovinos, 3) Teste de viabilidade em B.O.D. de sementes após 105 dias em placas fecais e 4) Germinação de sementes escarificadas e não escarificadas em B.O.D., com e sem exposição ao fogo. A irrigação diária beneficiou as taxas de germinação indicando que a precipitação natural pode não ser suficiente para o estabelecimento de ambas as espécies em condições de campo. A passagem pelo trato digestivo dos bovinos não promoveu a germinação de ambas as espécies, mas não inviabilizou as sementes, propiciando a germinação ao longo do tempo. O fogo não é promotor de germinação para nenhuma das espécies estudadas, indicando que a recorrência de incêndios nas áreas de ocorrência das espécies poderia prejudicar o estabelecimento das plântulas. Diante das mudanças climáticas, com alterações nos padrões de precipitação, aumento da ocorrência de incêndios e mudança no uso da terra devido à pecuária, *D. exaltata* e *D. wilsonii* podem ter a germinação e estabelecimentos comprometidos e não ser capazes de se manterem em ambientes naturais.

Palavras-chave: mudanças climáticas; placa fecal; perturbação ambiental; precipitação; viabilidade

ABSTRACT

COSTA, Gabriela Brito, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2025. **Effect of fire and cattle on the germination and establishment of two endangered species of the genus *Dimorphandra***. Adviser: Joao Paulo de Souza.

Dimorphandra exaltata and *D. wilsonii* are endangered plant species in the Atlantic Forest and the Cerrado. These biomes are subject to anthropogenic actions such as fire and livestock farming, intensifying environmental degradation. This study aimed to investigate the influence of fire and the passage of *D. exaltata* and *D. wilsonii* seeds through the digestive tract of cattle on the germination and establishment of these plant species, helping future management and conservation plans. Four experiments were conducted: 1) Germination in fecal plates with seeds that had or had not passed through the bovine digestive tract, with natural or daily irrigation; 2) Control germination in a B.O.D. type incubator with manually scarified seeds, seeds without scarification, and seeds after passage through the bovine digestive tract; 3) Viability tests of seeds in B.O.D. after 105 days in fecal plates, and 4) Germination of scarified and non-scarified seeds in B.O.D., with and without exposure to fire. Daily irrigation favored germination rates, indicating that natural precipitation could be insufficient for establishing both species under field conditions. Passage through the digestive tract of cattle did not promote germination in either species, but did not impair the seeds' viability, allowing germination over time. Fire does not promote germination for any species studied, indicating that recurrent fires in the areas where these species occur may impair seedling establishment. Due to climate change, with changes in precipitation patterns, increased fire occurrence, and land-use changes due to livestock, *D. exaltata* and *D. wilsonii* may have their germination and establishment compromised and may not be able to maintain themselves in natural environments.

Keywords: climate change; environmental disturbance; fecal plate; precipitation ; viability

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
2.1. Coleta de material para montagem dos experimentos	10
2.2. Experimento sobre o efeito da passagem pelo trato digestivo de bovinos na germinação e estabelecimento de <i>D. exaltata</i> e <i>D. wilsonii</i>	11
2.3. Experimento sobre o efeito do fogo sobre a germinação de sementes em <i>D. exaltata</i> e <i>D. wilsonii</i>	14
2.4. Análises estatísticas	15
3. RESULTADOS	16
3.1. Efeito da passagem pelo trato digestivo de bovinos na germinação e estabelecimento de <i>D. exaltata</i> e <i>D. wilsonii</i>	16
3.2. Efeito do fogo sobre a germinação de sementes em <i>D. exaltata</i> e <i>D. wilsonii</i>	21
4. DISCUSSÃO.....	23
4.1. Efeito da passagem pelo trato digestivo de bovinos na germinação e estabelecimento de <i>D. exaltata</i> e <i>D. wilsonii</i>	24
4.2. Efeito do fogo sobre a germinação de sementes em <i>D. exaltata</i> e <i>D. wilsonii</i>	26
5. CONCLUSÕES.....	27
5.1. Ações para Conservação e Aplicações Práticas	28
REFERÊNCIAS	29
APÊNDICE A - TABELAS DE RESULTADOS DAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS	35

1. INTRODUÇÃO

A degradação dos ecossistemas é considerada um problema de escala global e tem como uma das principais causas as atividades antrópicas que vêm desde a urbanização até a expansão agrícola, fazendo com que áreas de ecossistemas contínuas se tornem áreas de vegetações fragmentadas (Lewis e Maslin, 2015). O Cerrado e a Mata Atlântica são biomas considerados *hotspots* de biodiversidade (Myers *et al.*, 2000). A Mata Atlântica foi um dos primeiros biomas a sofrer com ações antrópicas desde a colonização europeia, através de extração de madeira, caça ilegal e queimadas, dentre outros (Salto, 2006). Até o ano de 2023, restavam apenas 12,4% da cobertura florestal original da Mata Atlântica, composta por fragmentos de vegetação madura com mais de três hectares, caracterizados por dossel fechado e ausência de degradação detectável por imagens de satélite (Fundação SOS Mata Atlântica e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2024), o que acarretou a destruição de habitats ricos em recursos biológicos. No Cerrado a degradação se deu principalmente a partir da expansão de pastagens, cultivo de soja e incêndios antrópicos. A área desmatada do Cerrado por corte raso atingiu 49,9% até 2019 (Vieira *et al.*, 2022), resultando numa grande perda de vegetação natural.

Árvores do gênero *Dimorphandra* (Fabaceae) estão distribuídas por diferentes biomas brasileiros, como Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica. (Muniz *et al.*, 2019). Duas espécies em destaque, *Dimorphandra exaltata* Schott e *Dimorphandra wilsonii* Rizzini, ocorrem em simpatria e estão classificadas como em perigo de extinção pela União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN) (Fernandez *et al.*, 2021; Fernandez *et al.*, 2025). *Dimorphandra exaltata* é endêmica da Mata Atlântica com ocorrência registrada principalmente nos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro (Muniz *et al.*, 2019), pode chegar a 30 metros de altura, tem tronco reto e casca fina, apresentam folhas recompostas que tem de quatro a seis folíolos e foliólulos glabros e os frutos são legumes rígidos e achatados que podem medir até 15 centímetros (da Silva, 1986). Já *D. wilsonii* ocorre nos ecótonos entre a Mata Atlântica e o Cerrado, sobretudo em Minas Gerais (Fernandes e Rego, 2014) e pode chegar até 17 metros de altura, com casca reticulada, apresentando folhas recompostas que tem de seis a doze folíolos e com foliólulos pilosos e fruto rígido e achatado chegando a 25 centímetros (Martins *et al.*, 2014). A maioria dos indivíduos conhecidos dessas duas espécies está localizada em propriedades privadas, principalmente em áreas de pastagem, onde o gado consome seus frutos (Fernandes e Rego, 2014; Martins *et al.*, 2014).

A expansão agropecuária é responsável por gerar intensa degradação ambiental, provocando alterações físicas e biológicas ao longo do tempo, modificando paisagens e

comprometendo ecossistemas (Campos *et al.*, 2017). O manejo inadequado da pecuária, especialmente em áreas de pastagem intensiva, contribui para a perda da vegetação nativa por meio do desmatamento, das queimadas e da compactação do solo causada pelo pisoteio do gado (Abadias *et al.*, 2020), o que favorece processos erosivos e a perda de matéria orgânica, comprometendo a capacidade do solo de reter água (Bell *et al.*, 2011). Esses impactos físicos no solo não apenas afetam diretamente a estrutura e a funcionalidade dos ecossistemas, como também potencializam os efeitos das mudanças climáticas. De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023), prevê-se uma intensificação de eventos extremos, como alterações no regime de chuvas e prolongamento dos períodos de seca. Nesse cenário, a restrição hídrica se configura como um fator crítico, capaz de reduzir a germinação e a diversidade do banco de sementes (Dias *et al.*, 2024), afetando diretamente o recrutamento e o estabelecimento de espécies vegetais em áreas degradadas.

Em adição às alterações ambientais, os animais ruminantes provenientes da pecuária podem ser responsáveis pela dispersão de sementes (Carmona, 1992; Abbas *et al.*, 2018). Os processos envolvidos na endozoocoria como a ação mecânica da mastigação, atividade microbiana e ácidos no rúmen, temperatura e alterações no pH ao decorrer do trato gastrointestinal de bovinos podem afetar a viabilidade de sementes e por consequência reduzir a germinação de espécies vegetais (Schaedler *et al.*, 2021). Por outro lado, as sementes de espécies da família Fabaceae podem apresentar um aumento na germinação em decorrência da escarificação mecânica e química, que suprime a dormência das sementes (Milotić e Hoffmann, 2016). De acordo com Nakao e Cardoso (2010) a germinação de *Cajanus cajan* (L.) Millsp. após a passagem pelo trato digestivo foi fortemente inibida enquanto a germinação *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, não foi influenciada pela passagem pelo trato digestivo de bovinos, o que pode ser atribuído ao tegumento duro e impermeável das sementes. Apesar da baixa eficiência como dispersores legítimos, os bovinos podem contribuir na dispersão das espécies. Assim, a viabilidade das sementes após passagem no trato digestivo dos animais ruminantes depende de características específicas das sementes, como o tamanho e tipo de tegumento (Whitacre e Call, 2006).

Além da dispersão e viabilidade das sementes após a endozoocoria, fatores abióticos como o fogo são fundamentais para a quebra da dormência e germinação, especialmente em biomas onde o fogo é um processo natural (Pausas e Lamont, 2022). O fogo é um processo natural que ocorre no bioma Cerrado, principalmente no final da estação seca e começo da estação chuvosa e é considerado um fator determinante da vegetação (Brasil, 2016; Mistry, 1998; Durigan, 2020). No Cerrado existem espécies vegetais adaptadas ao fogo, podendo ser tolerantes ou dependentes de fogo, diferente de espécies encontradas em florestas, como a Mata Atlântica que apresentam maior

mortalidade quando expostas a incêndios (Hoffmann *et al.*, 2009). Porém, ações antrópicas intensificaram a ocorrência de incêndios, principalmente pelo manejo de pastagens e abertura de novas áreas para cultivo, no qual o fogo descontrolado pode atingir extensas áreas (Nascimento, 2001). Incêndios antrópicos tendem a apresentar maior intensidade e velocidade de propagação do que incêndios naturais, pois muitas vezes são iniciados em períodos de seca que contam com temperatura elevada, baixa umidade e ventos fortes (Hantson *et al.*, 2022). Em Minas Gerais, os biomas que mais sofrem com queimadas antrópicas são o Cerrado e a Mata Atlântica, sendo que ao longo de 20 anos cerca de 21,6% do território do estado passou por no mínimo uma vez por queimadas naturais ou antrópicas (Latuf *et al.*, 2022).

O fogo pode estimular a germinação de algumas sementes em ambientes propensos a incêndios, pois as altas temperaturas ou a fumaça podem quebrar sua dormência (Pausas e Lamont, 2022). Além disso, as condições do ambiente após o fogo geralmente favorecem o estabelecimento de diversas espécies (Pausas e Lamont, 2022). O fogo pode diminuir a germinação, restringir a produção de sementes de espécies florestais, afetar os agentes dispersores e causar a morte de populações vegetais (Ribeiro e Borghetti, 2014; Lamont, 2022). De acordo com Daibes *et al.*, (2019) ao analisar 46 espécies de leguminosas, apenas seis apresentaram aumento na germinação quando submetidas a choques térmicos e metade das espécies ficaram inviáveis após a exposição a 200 °C por um minuto, sugerindo que o fogo pode não ser um fator determinante na germinação de sementes de Fabaceae em ambientes tropicais. Sendo assim, é importante investigar o efeito do fogo sobre a germinação e estabelecimento de espécies arbóreas tanto de ambientes propensos ao fogo, como em ambientes sem sua ocorrência natural, principalmente de espécies ameaçadas de extinção.

Tendo em vista que a ocorrência de *D. exaltata* e *D. wilsonii* é registrada em fazendas particulares com ambientes degradados que contam com a presença de ruminantes e a ocorrência incêndios que podem ser antrópicos ou não, estes fatores podem influenciar a germinação e o estabelecimento das espécies, o que pode afetar futuros planos de manejo e conservação. Desta forma, o objetivo do presente estudo foi o de investigar a influência do gado bovino (*Bos taurus* Linnaeus) e do fogo sobre a germinação e o estabelecimento de *D. exaltata* e *D. wilsonii*. Nossa hipótese principal é de que o fogo e a passagem das sementes pelo trato digestivo do gado influenciam a germinação e o estabelecimento de *D. exaltata* e *D. wilsonii*. Nossas previsões são: 1) A passagem do fruto pelo trato digestivo do gado beneficiará a germinação, resultando em maior estabelecimento das espécies estudadas, 2) Após passar pelo trato digestivo, as sementes nas placas fecais regadas diariamente apresentarão maiores taxas de germinação e estabelecimento nas duas espécies estudadas e 3) O fogo poderá beneficiar a germinação das sementes de *D. wilsonii*

quebrando a dormência das sementes, pois essa espécie ocorre em ecótonos entre o Cerrado e a Mata Atlântica sujeitos ao fogo, porém poderá prejudicar a germinação das sementes de *D. exaltata*, por ser uma espécie florestal, onde o fogo não ocorre naturalmente.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Coleta de material para montagem dos experimentos

O experimento foi realizado na Universidade Federal de Viçosa - *campus* Florestal (19°52'35.15" S, 44°24'48.44" O), Minas Gerais. Para a realização do experimento, nós coletamos frutos das duas espécies estudadas em remanescentes vegetacionais naturais localizados em fazendas particulares de Florestal e Juatuba em Minas Gerais (Figura 1), entre os meses de agosto e setembro de 2023. Nesses mesmos locais e período, nós coletamos fezes bovinas (placas fecais) contendo sementes das duas espécies em áreas de pasto, perto das plantas matrizes. Para podermos comparar o efeito das fezes sobre a germinação e estabelecimento das espécies estudadas, fizemos a coleta de fezes bovinas sem conter sementes das espécies estudadas no setor de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa - *campus* Florestal.

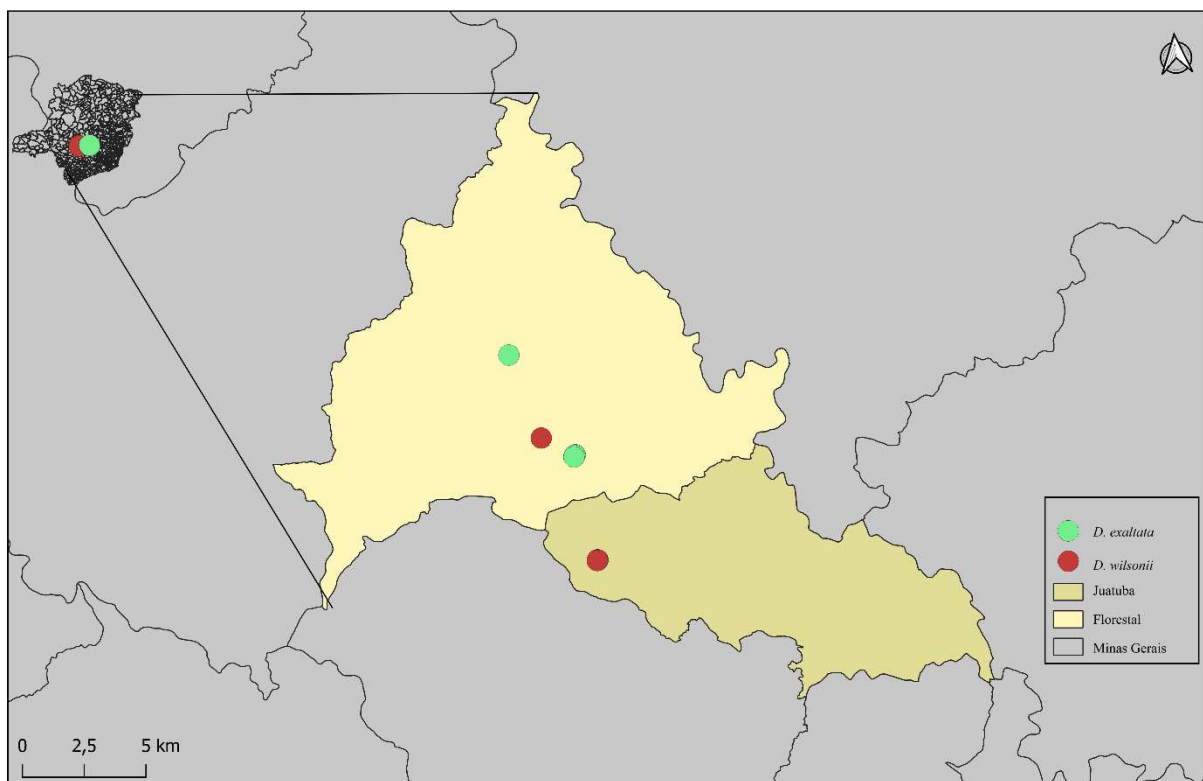


Figura 1. Mapa dos pontos de coleta de frutos de *D. exaltata* e *D. wilsonii* localizados nos municípios de Florestal e Juatuba - MG.

A precipitação na área de estudo foi analisada a partir da coleta de dados da estação automática meteorológica localizada em Florestal, MG (A535) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Durante todo o experimento (130 dias), em apenas quatro dias houve uma precipitação maior do que 40mm e em apenas 60 dias houve precipitação de 10,4mm (Figura 2).

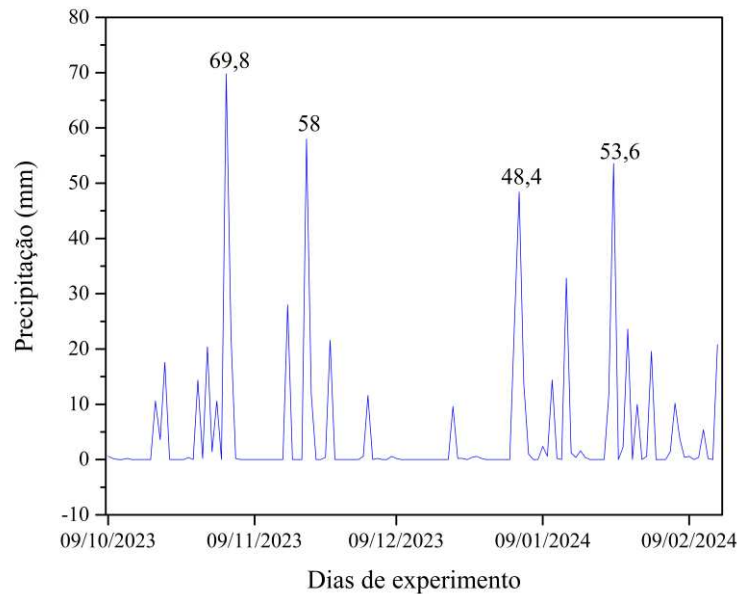


Figura 2. Precipitação diária na cidade de Florestal - MG no período do experimento (09/10/2023 a 15/02/2024) sobre a influência da passagem das sementes de *D. exaltata* e *D. wilsonii* pelo trato digestivo do gado.

2.2. Experimento sobre o efeito da passagem pelo trato digestivo de bovinos na germinação e estabelecimento de *D. exaltata* e *D. wilsonii*

Para verificar a influência do trato digestivo de bovinos e das placas fecais sobre a germinação e estabelecimento das espécies estudadas, foram coletadas 15 placas fecais com sementes de *D. exaltata* e 18 placas fecais com sementes de *D. wilsonii* em fazendas particulares de Florestal, Juatuba e Mateus Leme. Foram coletadas também 33 placas fecais sem sementes das espécies estudadas, no setor de Zootecnia da UFV/CAF. Logo após a coleta das placas na UFV/CAF, cinco sementes escarificadas manualmente (lixas de madeira nº 80) foram depositadas em cada uma das placas sem sementes, totalizando 15 placas fecais com sementes de *D. exaltata* e 18 de *D. wilsonii* (Figura 3a).

Essas placas fecais foram depositadas em solo na área externa da Casa de Professores da Biologia, IBF, na Universidade Federal de Viçosa - *campus* Florestal e acompanhadas diariamente por 105 dias para a verificação da germinação das sementes, emergência e estabelecimento das

plântulas das duas espécies estudadas. O experimento foi realizado no início do período chuvoso, para que a irrigação ocorresse de forma natural devido à precipitação (como ocorre nas áreas de ocorrência das espécies). Para analisar a influência da irrigação nas placas fecais, irrigamos diariamente outras seis placas fecais por espécie com sementes que passaram pelo trato digestivo, que foram coletadas nas fazendas particulares.

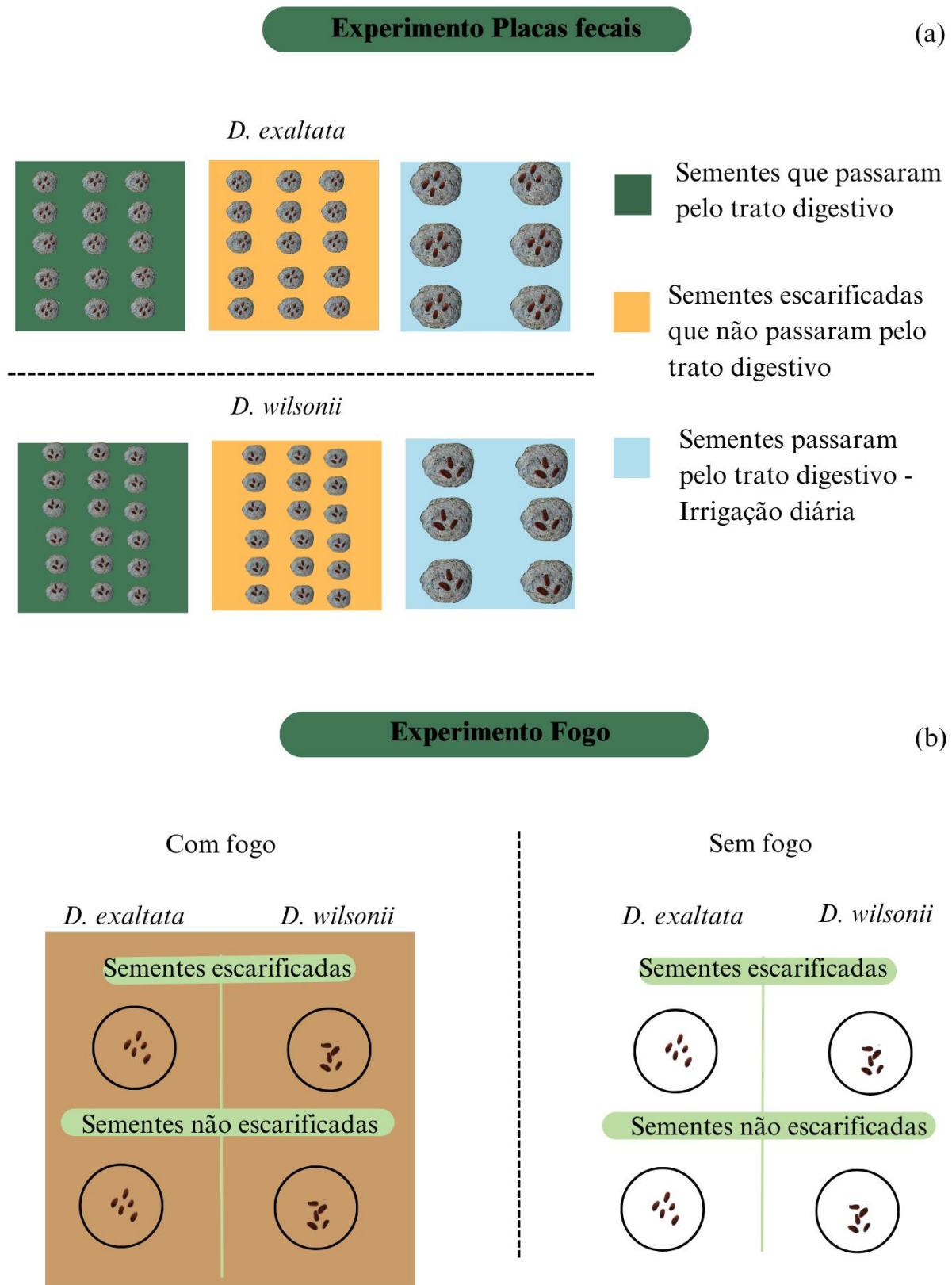


Figura 3.(a) Esquema do experimento sobre o efeito da passagem das sementes através do trato digestivo do gado bovino sobre a germinação e estabelecimento de *D. exaltata* e *D. wilsonii*. **(b)** Esquema do experimento sobre o efeito da passagem do fogo sobre a germinação das sementes de *D. exaltata* e *D. wilsonii*.

Para verificar a viabilidade das sementes após 105 dias do início do experimento, realizamos um outro experimento nomeado de pós-placa fecal, no qual as placas fecais foram triadas a fim de separar as sementes remanescentes do conteúdo fecal. Estas sementes foram limpas e colocadas em placas de Petri com papel de germinação em uma incubadora do tipo B.O.D. (EL202/4E, ELETROlab, Brasil). A incubadora foi configurada com fotoperíodo de 12 horas de luz e 12 horas de escuro a temperatura constante de 25 °C. As sementes foram monitoradas diariamente durante 15 dias e umedecidas com água deionizada.

Para analisar a influência da passagem pelo trato digestivo sem a interferência das placas fecais e em condições ideais para a germinação, fizemos um experimento controle e utilizamos uma incubadora do tipo B.O.D., configurada com as mesmas condições utilizadas no experimento pós-placa fecal por dois meses. Utilizamos 90 sementes por espécie que foram divididas em 30 sementes que passaram pelo trato digestivo, 30 escarificadas manualmente e 30 sementes sem escarificação, totalizando 180 sementes.

Para todos os tratamentos, foram analisadas a velocidade de germinação, calculada conforme proposto por Maguire (1962), utilizando a fórmula: $(VG = \sum(\frac{G_i}{T_i}))$ onde G_i é o número de sementes germinadas no dia i e T_i é o número de dias decorridos desde a semeadura até o dia i . A porcentagem $(PG = \frac{\text{sementes germinadas}}{\text{sementes totais}} \times 100)$ e o intervalo de germinação (IG = dias que as sementes demoraram para germinar a partir do começo do experimento) foram determinados após o fim do experimento com a triagem de sementes que ficaram nas placas fecais.

Após a germinação das sementes do experimento com as placas fecais, analisamos a porcentagem de estabelecimento das plântulas emergidas $(PE = \frac{\text{plântulas estabelecidas}}{\text{sementes totais}} \times 100)$, o tempo de vida das plântulas (TVP) e o tempo para produção de eófilos (TPE). As análises foram realizadas com as plântulas de todas as placas fecais.

2.3. Experimento sobre o efeito do fogo sobre a germinação de sementes em *D. exaltata* e *D. wilsonii*

Para verificar o efeito da passagem de fogo na germinação das sementes, foi montado um experimento na área externa da Casa de Professores da Biologia, IBF/UFV/CAF. Utilizamos 120 sementes para o tratamento de fogo, sendo 60 para cada espécie, divididas em 30 sementes escarificadas e 30 sementes sem escarificar. As sementes que não passaram pelo fogo foram divididas da mesma maneira, totalizando então 240 sementes (Figura 3b).

Foram utilizados 500 litros de folhas secas e cinco litros de álcool como combustível para o fogo e foram feitos aceiros preventivos para evitar a propagação do fogo. As sementes foram

depositadas no solo em uma parcela de 0,9 x 1,35 metros e cobertas com as folhas para a passagem do fogo. Durante o evento do fogo medimos a altura com auxílio de uma régua, temperatura com um termômetro digital infravermelho e duração das chamas com auxílio de um cronômetro.

O fogo teve duração de 18 minutos, apresentou altura máxima de 60 centímetros e após oito minutos do início, o fogo apresentou sua maior temperatura chegando a 674 °C. A temperatura do fogo se igualou à temperatura ambiente após 75 minutos do início do experimento (Figura 4).

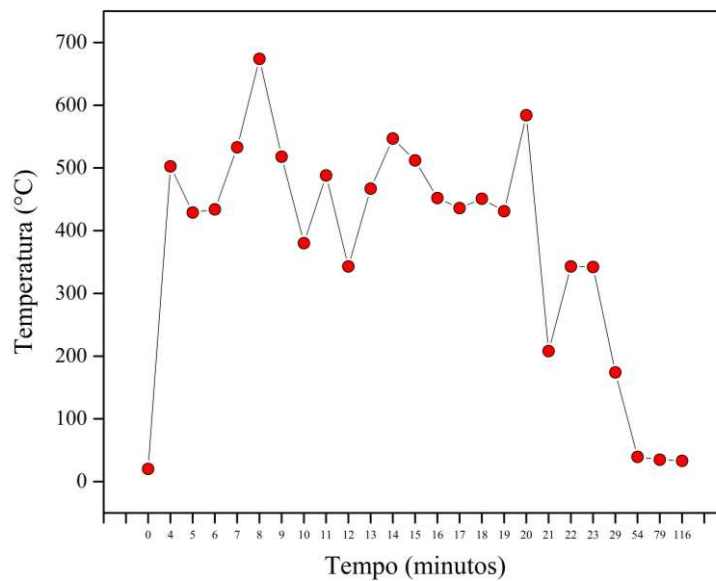


Figura 4. Variação da temperatura e duração do fogo ao longo do experimento. O gráfico apresenta os valores de temperatura medidos, totalizando 1 hora e 45 minutos de experimento.

Após a passagem do fogo as sementes foram depositadas em placas de Petri e acompanhadas para a verificação da germinação em uma incubadora do tipo B.O.D. configurada com as mesmas condições utilizadas no experimento pós-placa fecal por dois meses. Ao final do experimento, nós calculamos as mesmas variáveis de germinação do primeiro experimento.

2.4. Análises estatísticas

Para comparar as variáveis de germinação e estabelecimento de cada espécie sob influência da passagem pelo trato digestivo dos bovinos foi utilizado o modelo linear generalizado (GLM). Para analisar o intervalo de germinação, porcentagem de estabelecimento e o tempo de vida das plântulas, utilizamos um GLM com o fator trato digestivo em dois níveis (sementes que passaram pelo trato digestivo e sementes que não passaram pelo trato digestivo e foram depositadas nas fezes), o fator irrigação em dois níveis (irrigação diária e precipitação natural) e o fator espécie em dois níveis (*D. exaltata* e *D. wilsonii*).

Para verificar as diferenças significativas entre o experimento de placa fecal e o controle utilizamos um GLM, para as variáveis intervalo, velocidade e porcentagem de germinação, no qual o fator espécie teve dois níveis (*D. exaltata* e *D. wilsonii*), o fator proteção das sementes teve três níveis (semente não escarificada, semente escarificada e semente que passou pelo trato digestivo), o fator experimento teve dois níveis (controle e placa fecal) e o fator irrigação teve dois níveis (irrigação diária e precipitação natural).

Para verificar as diferenças significativas entre o experimento de pós-placa fecal e controle. utilizamos um GLM, para as variáveis intervalo, velocidade e porcentagem de germinação, no qual o fator espécie teve dois níveis (*D. exaltata* e *D. wilsonii*), o fator proteção das sementes teve três níveis (semente não escarificada, semente escarificada e semente que passou pelo trato digestivo), o fator experimento teve dois níveis (controle e pós-placa fecal) e o fator irrigação teve dois níveis (irrigação diária e precipitação natural).

Para analisar o intervalo, velocidade e porcentagem de germinação das espécies após a passagem do fogo também utilizamos um GLM com o fator fogo com dois níveis (presença de fogo e ausência de fogo), o fator proteção das sementes com dois níveis (semente não escarificada e semente escarificada) e o fator espécie com dois níveis (*D. exaltata* e *D. wilsonii*). Para todas as análises de GLM, utilizamos a distribuição Gaussiana, e os valores de AIC foram utilizados para escolher os modelos. Utilizamos o pacote Dharma para testar as suposições para GLM e o pacote emmeans para testar diferenças *post-hoc*. Os dados de porcentagem e os que não atenderam as condições do Dharma foram transformados em LOG_{10} , arcosseno ou boxcox. Para todas as análises estatísticas, foi utilizado o programa R (R CORE TEAM, 2015). Os gráficos foram feitos de acordo com o resultado das análises estatísticas no programa OriginPro (ORIGINLAB CORPORATION, 2016).

3. RESULTADOS

3.1. Efeito da passagem pelo trato digestivo de bovinos na germinação e estabelecimento de *D. exaltata* e *D. wilsonii*

Não foram observadas diferenças significativas no intervalo de germinação entre as espécies nos experimentos controle e placa fecal ($p = 0,096$; Tabela 1), nem entre os regimes de irrigação nos experimentos controle e placa fecal ($p = 0,068$; Tabela 1). Também não houve diferenças significativas entre os fatores proteção para placa fecal ($p = 0,070$; Tabela 1). A velocidade de germinação não apresentou diferenças significativas entre espécies e entre experimentos para o experimento controle e pós-placa fecal ($p = 0,200$; Tabela 1). A porcentagem

de germinação também não variou significativamente entre experimentos controle e pós-placa fecal ($p = 0,210$; Tabela 1) e entre controle e placa fecal ($p = 0,800$; Tabela 1) e regimes de irrigação para controle e pós-placa fecal ($p = 0,820$; Tabela 1). A porcentagem de estabelecimento não apresentou diferenças significativas entre espécies ($p = 0,212$; Tabela 1) e irrigação ($p = 0,500$; Tabela 1). O tempo de vida das plântulas não diferiu em relação à proteção ($p = 0,070$; Tabela 1). A variável dias para produção de eófilos não apresentou diferenças significativas para nenhum dos fatores avaliados ($p > 0,05$; Tabela 1).

Tabela 1. Variáveis de germinação e produção de eófilos em plântulas de *Dimorphandra exaltata* (DE) e/ou *D. wilsonii* (DW) que não apresentaram diferenças estatisticamente significativas nas análises realizadas. Foram cultivadas sob diferentes tratamentos: Experimento (controle, pós-placa fecal ou placa fecal), Proteção da semente (escarificada, sem escarificação ou após passagem pelo trato digestivo), Irrigação (precipitação natural ou irrigação diária) e presença ou ausência de fogo. As variáveis analisadas foram: índice de germinação (IG), velocidade de germinação (VG), porcentagem de germinação (PG), porcentagem de estabelecimento (PE), tempo de vida das plântulas (TVP) e dias para produção de eófilos (DPE). Os valores representam as médias \pm desvio padrão por fator.

Análises	Variáveis	Fatores										
		Espécie		Experimento			Proteção		Irrigação		Fogo	
		DE	DW	Controle	Pós placa fecal	Placa fecal	Escarificada	Trato digestivo	Precipitação	Irrigação diária	Com	Sem
Comparação controle pós-placa fecal	IG	9,62 \pm 9,96	13,91 \pm 13,22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	VG	0,83 \pm 0,61	1,40 \pm 1,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	PG	-	-	43,87 \pm 33,19	68,99 \pm 21,52	-	-	-	63,43 \pm 11,11	51,54 \pm 34,37	-	-
Comparação controle e placa fecal	IG	14,65 \pm 12,12	26,35 \pm 26,78	-	-	-	-	-	16,41 \pm 23,80	24,38 \pm 21,98	-	-
	VG	0,38 \pm 0,53	0,24 \pm 0,32	0,49 \pm 0,50	-	0,07 \pm 0,05	-	-	-	-	-	-
	PG	-	-	43,87 \pm 33,19	-	10,10 \pm 20,80	-	-	-	-	-	-
Placa fecal	IG	17,46 \pm 17,83	39,2 \pm 36,6	-	-	-	16 \pm 2,13	39,06 \pm 37,64	16,44 \pm 23,09	44,5 \pm 32,22	-	-
	PE	3,88 \pm 17,11	1,34 \pm 4,94	-	-	-	-	-	1,12 \pm 4,80	9,72 \pm 28,83	-	-
	TVP	-	-	-	-	-	1,82 \pm 3,28	5,63 \pm 15,44	-	-	-	-
	DPE	4,8 \pm 1,64	6,33 \pm 5,85	-	-	-	3,5 \pm 1,91	7,25 \pm 3,86	3,5 \pm 1,91	7,25 \pm 3,86	-	-
Fogo	IG	6,96 \pm 4,61	13,70 \pm 11,77	-	-	-	-	-	-	-	8 \pm 5,65	10,62 \pm 9,79

O intervalo de germinação de indivíduos submetidos ao experimento nas placas fecais foi maior do que de indivíduos submetidos a condições controle ($p < 0,05$, efeito simples de experimento, Figura 5a). A porcentagem de germinação foi maior em sementes que foram irrigadas diariamente quando comparadas a sementes sob precipitação natural ($p < 0,05$, efeito simples de Irrigação, Figura 5b).

A velocidade de germinação foi maior para sementes escarificadas quando comparadas a sementes sem escarificar e sementes que passaram pelo trato digestivo ($p < 0,05$, efeito simples de proteção, Figura 5c). Enquanto que as sementes que estavam submetidas ao tratamento de irrigação diária apresentaram maior velocidade de germinação do que sementes submetidas à precipitação natural ($p < 0,05$, efeito simples de irrigação, Figura 5d).

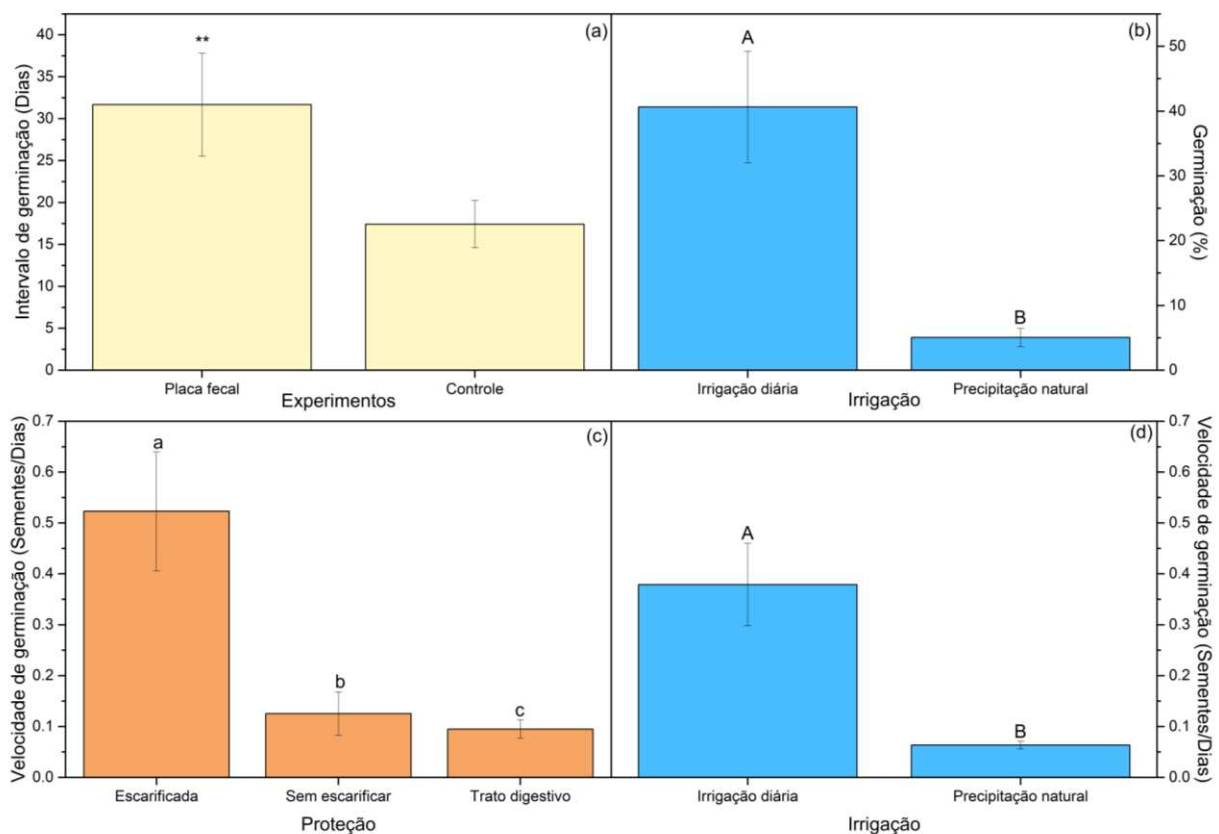


Figura 5. (a) Intervalo de germinação de *D. exaltata* e *D. wilsonii* cultivadas em placas fecais ou em condições controle por 105 dias. (b) Porcentagem de germinação de *D. exaltata* e *D. wilsonii* cultivadas em placas fecais e em condições controle por 105 dias. (c, d) Velocidade de germinação de *D. exaltata* e *D. wilsonii* em condições controle ou em placas fecais por 105 dias. As barras pretas representam o erro padrão de cada tratamento. As Letras minúsculas comparam diferenças significativas entre os tratamentos de proteção. Letras maiúsculas comparam diferenças significativas entre os tratamentos de irrigação. Asteriscos comparam diferenças significativas entre os experimentos.

Ao analisarmos a viabilidade de sementes remanescentes nas fezes após os 105 dias em comparação com as sementes germinadas em condições controle observamos que o intervalo de germinação foi maior para sementes não escarificadas, seguidos de sementes que passaram pelo trato digestivo e sementes escarificadas ($p < 0,05$, efeito simples de proteção, Figura 6a). Quando comparamos o intervalo de germinação entre os tratamentos, as sementes condicionadas ao controle apresentaram maiores valores do que as sementes que foram germinadas no experimento pós-placa fecal ($p < 0,05$, efeito simples de experimento, Figura 6b). A velocidade de germinação foi maior para as sementes de *D. wilsonii* no experimento de pós-placa fecal do que a sementes do experimento controle ($p < 0,05$, interação entre espécie e experimento, Figura 6c). Também, *D. wilsonii* apresentou maior valor de velocidade de germinação no experimento de pós-placa fecal quando comparadas a *D. exaltata* ($p < 0,05$, interação entre espécie e experimento, Figura 6c).

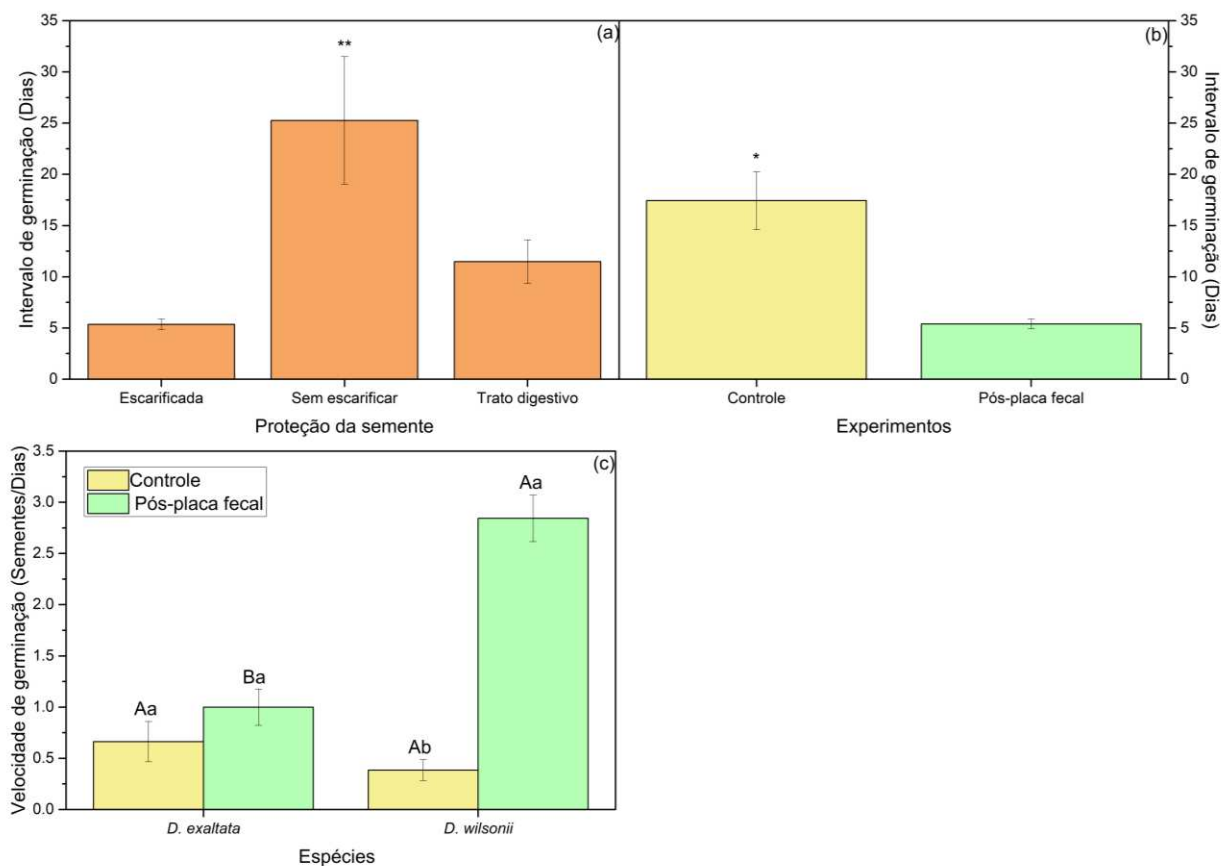


Figura 6. (a, b) Intervalo de germinação de *D. exaltata* e *D. wilsonii* cultivadas em condições controle por 105 dias ou sementes que ficaram 105 dias nas placas fecais (pós-placa fecal). As barras pretas representam o erro padrão de cada tratamento. (c) Velocidade de germinação de *D. exaltata* e *D. wilsonii* em condições controle, ou em pós-placa fecal. As barras pretas representam o erro padrão de cada tratamento. Letras minúsculas comparam diferenças significativas entre diferentes experimentos na mesma espécie. Letras maiúsculas comparam diferenças significativas entre diferentes espécies no mesmo experimento. Dois asteriscos comparam diferenças significativas entre os tratamentos de proteção. Um asterisco compara diferenças significativas entre os experimentos

As plântulas das duas espécies estudadas viveram por mais tempo quando irrigadas diariamente do que as plântulas submetidas a precipitação natural ($p < 0,05$, efeito simples de irrigação, Figura 7a). As plantulas de *D. exaltata* apresentaram maior tempo de vida do que as plântulas de *D. wilsonii* ($p < 0,05$, efeito simples de espécie, Figura 7b).

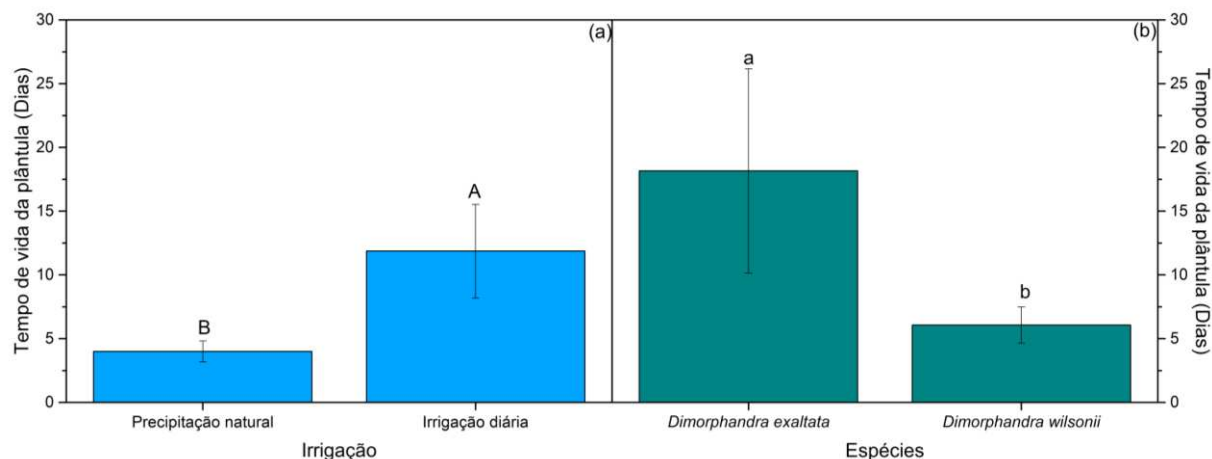


Figura 7. (a, b) Tempo de vida das plântulas de *D. exaltata* e *D. wilsonii* cultivadas em placas fecais por 105 dias. As barras pretas representam o erro padrão de cada tratamento. Letras minúscuas comparam diferenças significativas entre as espécies. Letras maiúsculas comparam diferenças significativas entre os tratamentos de irrigação

Os resultados das análises estatísticas podem ser encontrados no material suplementar (Tabela A.1 – Apêndice A)

3.2. Efeito do fogo sobre a germinação de sementes em *D. exaltata* e *D. wilsonii*

Não foram observadas diferenças significativas no intervalo de germinação entre as espécies ($p = 0,082$; Tabela 1) e entre os tratamentos no experimento fogo ($p = 0,30$; Tabela 1).

Sementes que não passaram pelo fogo apresentaram maiores valores na velocidade de germinação quando comparadas as sementes que passaram pelo fogo ($p < 0,05$, efeito simples do fogo, Figura 8a). As sementes de *D. exaltata* apresentaram maiores valores de velocidade de germinação quando comparadas as sementes de *D. wilsonii* ($p < 0,05$, efeito simples de espécie, Figura 8b). Independente do fogo, sementes escarificadas apresentaram maiores valores de velocidade de germinação do que sementes sem escarificar ($p < 0,05$, efeito simples de proteção, Figura 8c). Em adição, independente do fogo, sementes sem escarificar apresentaram maiores valores de intervalo de germinação do que sementes escarificadas ($p < 0,05$, efeito simples de proteção, Figura 8d).

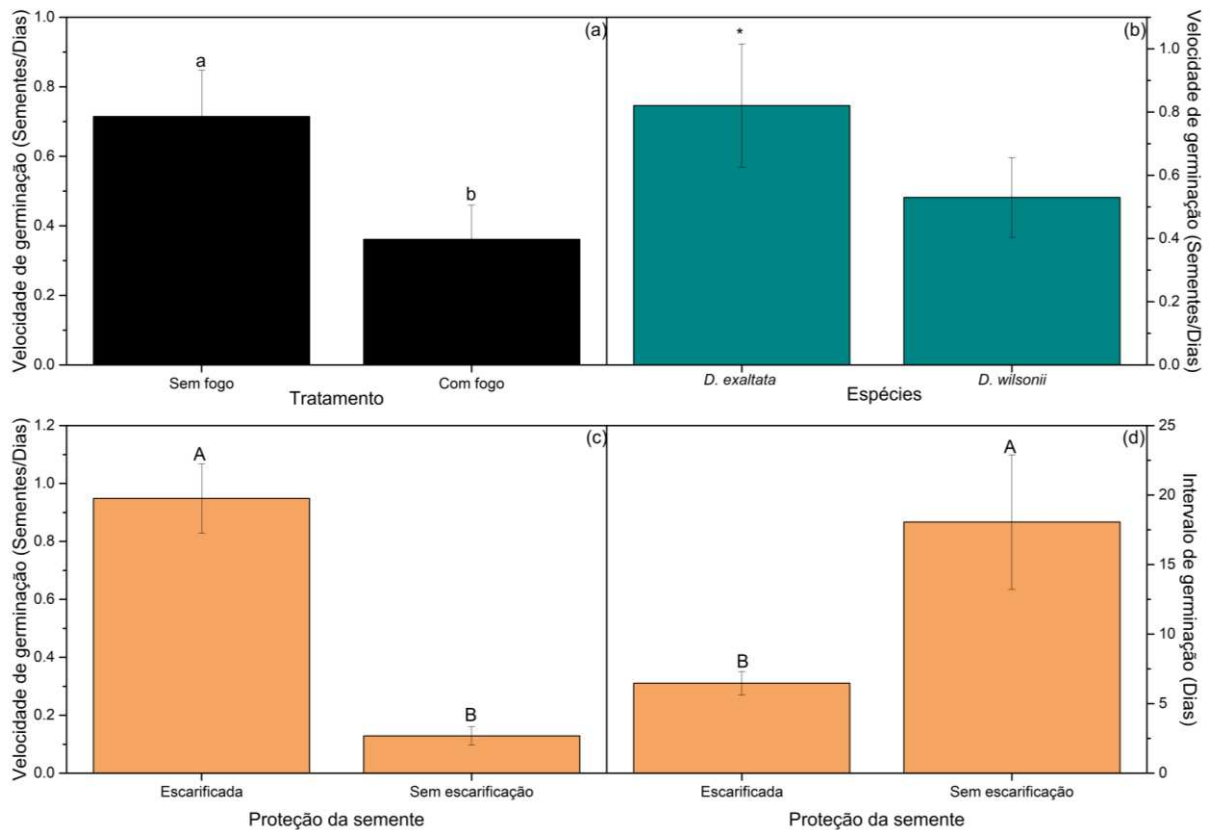


Figura 8. (a, b, c) Velocidade de germinação de *D. exaltata* e *D. wilsonii* cultivadas em B.O.D. por 60 dias após a passagem de fogo. **(d)** Intervalo de germinação de *D. exaltata* e *D. wilsonii* cultivadas em B.O.D. por 60 dias após a passagem de fogo. As barras pretas representam o erro padrão de cada tratamento. Letras minúsculas comparam diferenças no tratamento de fogo. Asterisco compara diferenças significativas entre espécies. Letras maiúsculas comparam diferenças significativas entre o fator proteção das sementes.

Sementes escarificadas, independente do fogo, apresentaram maiores valores de porcentagem de germinação do que sementes sem escarificar ($p < 0,05$, interação proteção e fogo, Figura 8). Sementes que não passaram pelo fogo apresentaram maiores valores na porcentagem de germinação quando comparadas as sementes que passaram pelo fogo ($p < 0,05$, interação proteção e fogo, Figura 9).

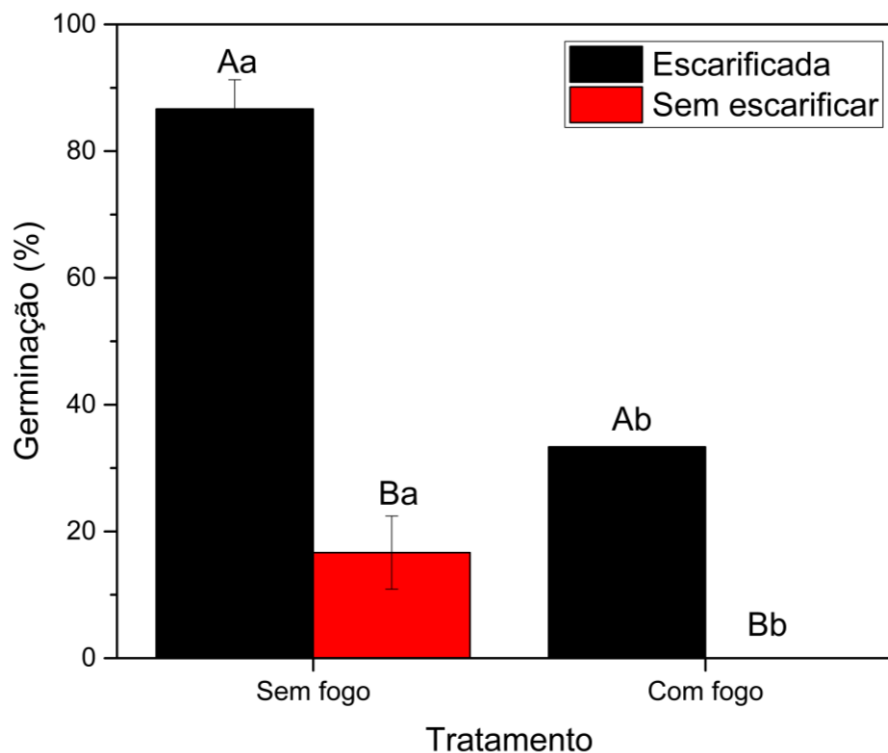


Figura 9. Porcentagem de germinação de *D. exaltata* e *D. wilsonii* cultivadas em B.O.D. por 60 dias após a passagem de fogo. As barras pretas representam o erro padrão de cada tratamento. Letras maiúsculas comparam diferenças na proteção de semente no mesmo tratamento de fogo. Letras minúsculas comparam diferenças significativas entre o fogo na mesma proteção das sementes.

Os resultados das análises estatísticas podem ser encontrados no material suplementar (Tabela A.2 – Apêndice A)

4. DISCUSSÃO

Contrariando a nossa hipótese inicial a passagem as sementes pelo trato digestivo dos ruminantes não beneficiou as taxas de germinação. Independente da passagem das sementes pelo trato digestivo dos bovinos ou pelo fogo, as sementes de *D. exaltata* e *D. wilsonii* escarificadas apresentaram maiores taxas de germinação, indicando que a presença do tegumento resistente dificulta a germinação. Essa característica morfológica pode estar ligada a uma estratégia de propagação da espécie vegetal ao longo do tempo, permitindo a persistência das sementes viáveis após condições ambientais desfavoráveis (Willis *et al.*, 2014). Embora predominantemente hereditária, a dormência física também pode ser influenciada por fatores ambientais durante o desenvolvimento da semente (Jaganathan, 2016). Além disso, está associada à sazonalidade (Rubio de Casas *et al.*, 2017), sendo mais frequente em sementes maturadas sob altas temperaturas e baixa precipitação do que naquelas desenvolvidas em condições ambientais mais favoráveis (Jaganathan, 2016). Quando vinculada à adaptação a ambientes desfavoráveis, a diversificação

tende a ser limitada e associada a altas taxas de extinção (Willis *et al.*, 2014), uma vez que linhagens especializadas em condições ambientais específicas demonstram menor plasticidade fenotípica e maior vulnerabilidade frente a mudanças no ambiente (Lavergne *et al.*, 2010; Liu *et al.*, 2022). Em estudos anteriores plantas jovens de *D. exaltata* apresentaram baixa plasticidade fenotípica em resposta à disponibilidade hídrica e à luz (Costa *et al.*, 2025), enquanto *D. wilsonii* demonstrou baixa plasticidade em relação à temperatura (Gonçalves, 2024), o que limita o ajustamento das espécies frente a mudanças climáticas. Além disto, a testa dura das sementes de *D. exaltata* e *D. wilsonii* pode atuar como barreira à embebição, resultando em baixa germinação das sementes não escarificadas. Esse tipo de dormência, somado à diminuição nos padrões de precipitação previstas devido às mudanças climáticas nas áreas de ocorrência das espécies estudadas, tende a reduzir as chances de estabelecimento das espécies em seu ambiente natural (Arroyo-Vargas *et al.*, 2019).

4.1. Efeito da passagem pelo trato digestivo de bovinos na germinação e estabelecimento de *D. exaltata* e *D. wilsonii*

Em nossos experimentos, a água foi o fator que mais beneficiou a porcentagem e a velocidade de germinação das espécies estudadas. Corroborando com a segunda predição estabelecida a irrigação diária aumentou a porcentagem, a velocidade de germinação e o tempo de vida das plântulas de ambas espécies, indicando que o regime hídrico natural na área de ocorrência dessas espécies pode não ser suficiente para que elas apresentem alta taxa de germinação, tendo em vista a necessidade de uma certa periodicidade da precipitação para a germinação (Iralu *et al.*, 2019). De acordo com previsões do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023), nas áreas de distribuição das espécies estudadas haverá uma diminuição da precipitação nos próximos anos, aumentando a intensidade das secas, o que pode diminuir ainda mais a germinação e estabelecimento destas espécies. Com o baixo recrutamento das plântulas, poucos indivíduos chegam à maturidade, o que reduz a população e aumenta o risco de extinção das espécies (Aronne, 2017). Porém, é importante ressaltar que mesmo com a precipitação irregular ao longo do período dos experimentos, houve uma alta taxa de germinação das espécies nos experimentos com as placas fecais. Foi observado que a sobrevivência foi baixa devido principalmente a predação de sementes e plântulas por aves e formigas (Observação pessoal). Espécies com distribuição restrita e com poucos indivíduos em populações pequenas e isoladas podem ser mais suscetíveis a predadores de sementes e plântulas do que espécies com ampla ocorrência e abundantes (Combs *et al.*, 2013). A presença de herbívoros pode agravar os efeitos negativos de condições ambientais

desfavoráveis, o que pode diminuir a sobrevivência dos indivíduos e reduzir significamente o tamanho populacional destas espécies (Ancheta e Heard, 2011).

A passagem pelo trato digestivo do gado não foi efetiva para promover a germinação das espécies estudadas, contrariando a primeira predição do estudo. Apesar da baixa eficiência para a promoção da germinação, o gado pode servir como dispersor, sendo importante para a quebra dos frutos que são rígidos e para a liberação das sementes sem quebrar o tegumento e sem diminuir a viabilidade das mesmas (Xu *et al.*, 2022). A viabilidade de sementes de *D. exaltata* e de *D. wilsonii* após a passagem pelo trato digestivo dos bovinos não foi prejudicada, o que permite a germinação futura. Isso pode representar uma vantagem adaptativa das espécies, permitindo que a germinação ocorra em momentos mais oportunos em ambientes imprevisíveis. Apresentar um maior intervalo de germinação em ambientes naturais pode ser vantajoso, pois a distribuição da germinação ao longo do tempo é uma estratégia de minimização de riscos, que aumenta a chance de sobrevivência das espécies em ambientes imprevisíveis (Gianella *et al.*, 2021; Pausas *et al.*, 2022). No entanto, devido as chuvas irregulares, intensificadas pelas alterações nos padrões de precipitação causadas pelas mudanças climáticas (Zhang *et al.*, 2021), a rápida germinação seria mais benéfica para as espécies estudadas, pois permitiria a sincronização da germinação e o estabelecimento simultâneo de várias plântulas, o que potencializaria o recrutamento de plantas e favoreceria o crescimento da população dessas espécies (Vacchiano *et al.*, 2021).

Ao testar a viabilidade após as sementes ficarem 105 dias nas placas fecais em condições de campo, as sementes que passaram pelo trato digestivo e foram irrigadas apenas pela precipitação natural apresentaram maior velocidade de germinação do que sementes em condições controle, indicando que as sementes continuam viáveis mesmo após a passagem pelo trato digestivo dos ruminantes. A alta recuperação de sementes após a passagem pelo trato digestivo de ruminantes tem relação com o tamanho das partículas que são mastigadas pelos animais, fazendo com que as sementes não sejam prejudicadas (Martz e Belyea, 1986). Esse processo está associado à seletividade mecânica da mastigação e à resistência estrutural das sementes, que muitas vezes apresentam tegumentos duros e impermeáveis, permitindo-lhes escapar da trituração durante a ruminação e resistir à ação enzimática e microbiana no rúmen, preservando sua viabilidade (D'hondt e Hoffmann, 2011). A falta de diferenças na porcentagem de germinação devido aos tratamentos indica que as placas fecais podem proteger as sementes mantendo-as viáveis, porém não estimula a germinação das espécies.

Ao comparar as espécies, as sementes de *D. wilsonii* após ficarem 105 nas placas fecais germinaram mais rápido do que as sementes de *D. exaltata*. Por ser um híbrido entre o cruzamento de *D. exaltata* e *D. mollis* (Muniz *et al.*, 2020), *D. wilsonii* pode apresentar maior capacidade de

se desenvolver e conseguir melhorar o desempenho na germinação do que *D. exaltata*. Espécies híbridas tendem a apresentar uma maior aptidão do que seus parentais em ecótonos entre os habitats parentais (Abbott, 2017). As espécies estudadas mesmo apresentando altas taxas de germinação em todos os tratamentos, apresentam baixo tamanho populacional em suas áreas naturais de ocorrência (IUCN, Fernandes *et al.*, 2022; Fernandez *et al.*, 2021), possivelmente devido à intensa predação das plântulas, fragmentação ambiental e às mudanças nos padrões de precipitação causadas pelas mudanças climáticas. Além disso, a baixa diversidade genética (Muniz *et al.*, 2020) e a limitada plasticidade fenotípica (Costa *et al.*, 2025; Gonçalves 2024) aumentam sua vulnerabilidade, colocando-as em risco de extinção e potencial desaparecimento da natureza.

4.2. Efeito do fogo sobre a germinação de sementes em *D. exaltata* e *D. wilsonii*

A quarta predição foi parcialmente corroborada, pois o fogo não atuou como fator promotor da germinação para nenhuma das espécies avaliadas (Fichino *et al.*, 2016). Esse resultado é observado mesmo considerando que *D. exaltata* ocorre na Mata Atlântica e *D. wilsonii* em ecótonos, sendo que ambas apresentam vínculos evolutivos com o Cerrado, um ambiente naturalmente suscetível ao fogo (Rocha *et al.*, 2024; Daibes *et al.*, 2019). A ocorrência de incêndios naturais nos ecótonos ou antrópicos nestas áreas e em matas fechadas pode causar grandes perdas para *D. exaltata* e *D. wilsonii*, uma vez que o fogo diminuiu a porcentagem e a velocidade de germinação de ambas as espécies. Isso pode explicar o baixo recrutamento observado, especialmente considerando que essas espécies ocorrem exclusivamente em áreas de propriedades particulares, muitas vezes desprovidas de planos eficazes de prevenção e combate a incêndios, e, por vezes, sujeitas a queimadas intencionais. A contínua exposição a eventos de fogo pode levar à diminuição da população dessas espécies sensíveis, contribuindo para seu risco de extinção (Machida *et al.*, 2021). Além disso, projeções indicam que os incêndios florestais tendem a se tornar mais frequentes e intensos nas próximas décadas (Oliveira *et al.*, 2022), o que agrava ainda mais o risco para a regeneração natural dessas espécies em seus habitats. Em adição, sementes que não foram expostas ao fogo germinaram mais do que aquelas que passaram por esse processo, indicando que o fogo danificou o embrião, mesmo em sementes com tegumento íntegro (Fichino *et al.*, 2016).

Ao comparar as diferenças entre as espécies foi possível observar que *D. exaltata* apresentou uma maior velocidade de germinação, ou seja, um maior sincronismo na germinação do que *D. wilsonii*. Esse maior sincronismo pode ser uma estratégia evolutiva de proteção reprodutiva para ambientes perturbados (Vacchiano *et al.*, 2021). *Dimorphandra exaltata* provavelmente se originou de uma linhagem do Cerrado, sendo uma espécie com origem recente que se especializou

em áreas de mata fechada (Rocha *et al.*, 2024), mostrando que sua mudança de nicho ecológico de áreas abertas sujeitas à eventos de fogo para área de mata ainda pode estar ocorrendo. Dessa forma, algumas características ecológicas de Cerrado ainda podem estar preservadas em *D. exaltata*. Em adição, *D. wilsonii*, por ser uma espécie derivada de *D. exaltata* e apresentar origem ainda mais recente (Muniz *et al.*, 2020), parece estar em processo de ajustamento adaptativo para se estabelecer em seu ambiente.

O regime do fogo tem sido constantemente alterado por ações antrópicas, tornando-o mais intenso do que seria sob condições naturais, como aquelas provocadas por raios no início da estação chuvosa, já que os incêndios causados pelo homem, mais intensos, ocorrem durante períodos de seca (Pivello *et al.*, 2021). O fogo natural é heterogêneo e a temperatura e duração do fogo dependem da cobertura vegetal que atua como combustível (Daibes *et al.*, 2018). No clima seco o fogo se propaga mais rápido e apresenta uma maior intensidade devido à biomassa seca acumulada, causando um dano maior no ecossistema do que o fogo natural que ocorre no início da estação úmida, quando é iniciado por raios (Hantson *et al.*, 2022). A temperatura do fogo pode variar de 80 °C a mais de 600 °C próximo a superfície do solo no Cerrado (Miranda *et al.*, 1993; Rissi *et al.*, 2017). Assim, a temperatura alcançada em nosso estudo simula incêndios de alta intensidade que podem causar morte em espécies arbóreas (Hood *et al.*, 2018).

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo nos permitiram avaliar os efeitos do fogo e da endozocoria por gado sobre a germinação e o estabelecimento de *D. exaltata* e *D. wilsonii*. Contrariando nossa hipótese, observamos que a passagem das sementes pelo trato digestivo dos ruminantes não beneficiou as taxas de germinação. A primeira predição foi parcialmente confirmada, pois a passagem dos frutos pelo trato digestivo do gado não favoreceu a germinação, porém não inviabilizou as sementes, propiciando uma germinação ao longo do tempo. A segunda predição foi confirmada pois a irrigação diária favoreceu a germinação e o estabelecimento de ambas espécies. Mas isso indica que a precipitação natural atual e futura tendem a não ser suficientes para a germinação e estabelecimento das espécies. A terceira predição foi parcialmente corroborada, pois a germinação de ambas espécies foi prejudicada pelo fogo, e não só a de *D. exaltata*, como era o esperado. Dessa forma a recorrência de incêndios pode ser prejudicial para ambas as espécies. Assim, diante das mudanças no uso do solo, da fragmentação do habitat e das alterações climáticas, que impactam os padrões de precipitação, *D. exaltata* e *D. wilsonii* podem

não conseguir se estabelecer e manter populações viáveis em seus ambientes de ocorrência ao longo do tempo.

5.1. Ações para Conservação e Aplicações Práticas

Com base nos resultados deste trabalho, é possível propor estratégias que contribuam para a conservação das espécies estudadas. Diante dos desafios identificados, como a baixa regeneração natural e os impactos antrópicos nas áreas de ocorrência de *D. exaltata* e *D. wilsonii*, algumas estratégias se mostram relevantes para mitigar essas ameaças e promover a persistência das populações em longo prazo. Uma alternativa viável é o replantio de mudas em estágios mais avançados de desenvolvimento, uma vez que indivíduos maiores tendem a apresentar maior taxa de sobrevivência no campo, especialmente em ambientes onde a regeneração natural é limitada. Além disso, o aumento das ações de prevenção e combate a incêndios nas propriedades rurais que abrigam populações naturais é fundamental, considerando que o fogo representa uma ameaça significativa à integridade dessas áreas. Outro ponto importante é a conscientização e o envolvimento dos proprietários das fazendas onde as espécies ocorrem. O diálogo com esses atores e a promoção de ações de educação ambiental podem favorecer práticas de uso da terra mais sustentáveis, contribuindo para a proteção das populações remanescentes e para o manejo adequado da paisagem. Essas medidas, articuladas entre si, podem fortalecer os esforços de conservação e favorecer a restauração dos ecossistemas onde essas espécies estão inseridas.

REFERÊNCIAS

- Abadias, I. M., da Fonseca, P. R. B., e Barbos, C. H. (2020). Manejo da pecuária-uma análise sobre impactos ambientais. **Educamazônia-Educação, Sociedade e Meio Ambiente**, 24(1, jan-jun), 113-125.
- Abbas, A. M., Mancilla-Leytón, J. M., and Castillo, J. M. (2018). Can camels disperse seeds of the invasive tree *Prosopis juliflora*? **Weed Research**, 58(3), 221-228.
- Abbott, R. J. (2017). Plant speciation across environmental gradients and the occurrence and nature of hybrid zones. **Journal of Systematics and Evolution** 55: 238–258.
- Ancheta, J., and Heard, S. B. (2011). Impacts of insect herbivores on rare plant populations. **Biological Conservation**, 144(10), 2395-2402.
- Aronne, G. (2017). Identification of bottlenecks in the plant life cycle for sustainable conservation of rare and endangered species. **Frontiers in Ecology and Evolution**, 5, 76.
- Arroyo-Vargas, P., Fuentes-Ramírez, A., Muys, B., and Pauchard, A. (2019). Impacts of fire severity and cattle grazing on early plant dynamics in old-growth Araucaria-Nothofagus forests. **Forest Ecosystems**, 6, 1-14.
- Bell, L. W., Kirkegaard, J. A., Swan, A., Hunt, J. R., Huth, N. I., and Fettell, N. A. (2011). Impacts of soil damage by grazing livestock on crop productivity. **Soil and Tillage Research**, 113(1), 19-29.
- Brasil. (2016) Comissão Executiva do PP cerrado. Planos de Ação para a Prevenção e o Controle do Desmatamento: Documento base: Contexto e Análises. Brasília-DF: Ministério do Meio Ambiente –MMA,.85p.
- Campos, S. A. C., Gomes, M. F. M., e Coelho, A. B. (2017). Degradação ambiental agropecuária e seus determinantes em Minas Gerais. **Revista de Estudos Sociais**, 19(38), 50-66.
- Carmona, R. (1992). Problemática e manejo de bancos de sementes de invasoras em solos agrícolas. **Planta daninha**, 10, 05-16.
- Combs, J. K., Lambert, A. M., and Reichard, S. H. (2013). Predispersal seed predation is higher in a rare species than in its widespread sympatric congeners (*Astragalus*, Fabaceae). **American Journal of Botany**, 100(11), 2149-2157.

- Costa, G. B., Oliveira, G. J. S., and Souza, J. P. (2025). Phenotypic plasticity does not prevent impairment of aboveground biomass production due to increased light and water deficit in *Dimorphandra exaltata*, an endangered species. **Journal of Plant Research**, 1-14.
- Daibes, L. F., Gorgone-Barbosa, E., Silveira, F. A., and Fidelis, A. (2018). Gaps critical for the survival of exposed seeds during Cerrado fires. **Australian Journal of Botany**, 66(2), 116-123.
- Daibes, L. F., Pausas, J. G., Bonani, N., Nunes, J., Silveira, F. A., and Fidelis, A. (2019). Fire and legume germination in a tropical savanna: ecological and historical factors. **Annals of Botany**, 123(7), 1219-1229.
- Da Silva, M. F. Freitas da. *Dimorphandra* (Caesalpiniaceae). Flora Neotropica Monogr. 44: 1–128. **New York Botanical Garden Press**, 1986.
- D'hondt, B., and Hoffmann, M. (2011). A reassessment of the role of simple seed traits in mortality following herbivore ingestion. **fer**, 13, 118-124.
- Dias, P. B., Horn Kunz, S., Pezzopane, J. E. M., Xavier, T. M. T., Zorzaneli, J. P. F., Toledo, J. V., and Gorsani, R. G. (2024). Water restriction alters seed bank traits and ecology in Atlantic Forest seasonal forests under climate change. **Global Change Biology**, 30(9), e17494.
- Durigan, G. (2020). Zero-fire: Not possible nor desirable in the Cerrado of Brazil. **Flora**, 268, 151612.
- Fernandez, E., Negrão, R., Fernandes, F. & León, M.L.V. (2025). *Dimorphandra wilsonii*. The IUCN **Red List of Threatened Species**.
- Fernandes, F. M., and Rego, J. O. (2014). *Dimorphandra wilsonii* Rizzini (Fabaceae): distribution, habitat and conservation status. **Acta Botanica Brasilica**, 28, 434-444.
- Fernandez, E., Verdi, M., Martinelli, G., Silva, G. and Moreira Fernandes, F. (2021). *Dimorphandra exaltata* (amended version of 2021 assessment). **The IUCN Red List of Threatened Species**.
- Fichino, B. S., Dombroski, J. R., Pivello, V. R., and Fidelis, A. (2016). Does fire trigger seed germination in the Neotropical Savannas? Experimental tests with six Cerrado species. **Biotropica**, 48(2), 181-187.

- Fundação SOS Mata Atlântica; Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais (2024). Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica período 2022-2023. São José dos Campos: INPE. Disponível em: <<http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP3W34T/4C2JEEE>>.
- Hantson, S., Andela, N., Goulden, M. L., and Randerson, J. T. (2022). Human-ignited fires result in more extreme fire behavior and ecosystem impacts. **Nature communications**, 13(1), 2717.
- Hoffmann, W. A., Adasme, R., Haridasan, M., T. de Carvalho, M., Geiger, E. L., Pereira, M. A. and Franco, A. C. (2009). Tree topkill, not mortality, governs the dynamics of savanna–forest boundaries under frequent fire in central Brazil. **Ecology**, 90(5), 1326-1337.
- Hood, S. M., Varner, J. M., Van Mantgem, P., and Cansler, C. A. (2018). Fire and tree death: understanding and improving modeling of fire-induced tree mortality. **Environmental Research Letters**, 13(11), 113004.
- Gianella, M., Bradford, K. J., and Guzzon, F. (2021). Ecological,(epi) genetic and physiological aspects of bet-hedging in angiosperms. **Plant Reproduction**, 34, 21-36.
- Gonçalves, M. E. (2024). O aquecimento atmosférico moderado melhora a eficiência fotoquímica e a produção de biomassa de duas espécies de plantas do gênero *Dimorphandra* (Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Viçosa).
- IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
- Iralu, V., Barbhuyan, H. S. A., and Upadhaya, K. (2019). Ecology of seed germination in threatened trees: a review. **Energy, Ecology and Environment**, 4, 189-210.
- Jaganathan, G.K. (2016). Influence of maternal environment in developing different levels of physical dormancy and its ecological significance. **Plant Ecol** 217, 71–79 <https://doi.org/10.1007/s11258-015-0560-y>
- Lamont, B. B. (2022). Historical links between climate and fire on species dispersion and trait evolution. **Plant Ecology**, 223(7), 711-732.

- Latuf, M. O., da Rios, G. S., e Pereira, R. C. (2022). Análise multitemporal de incêndios florestais ocorridos no Estado de Minas Gerais entre 2001 e 2020. **Revista Cerrados (Unimontes)**, 20(01), 120-148.
- Lavergne, S., Mouquet, N., Thuiller, W., and Ronce, O. (2010). Biodiversity and climate change: integrating evolutionary and ecological responses of species and communities. **Annual review of ecology, evolution, and systematics**, 41(1), 321-350.
- Lewis, S. L., and Maslin, M. A. (2015). Defining the anthropocene. **Nature**, 519(7542), 171-180.
- Liu, H., Ye, Q., Simpson, K. J., Cui, E., and Xia, J. (2022). Can evolutionary history predict plant plastic responses to climate change?. **New Phytologist**, 235(3), 1260-1271.
- Machida, W. S., Gomes, L., Moser, P., Castro, I. B., Miranda, S. C., da Silva-Junior, M. C., and Bustamante, M. M. (2021). Long term post-fire recovery of woody plants in savannas of central **Brazil. Forest Ecology and Management**, 493, 119255.
- Maguire, J. D. (1962). Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor.
- Martins, E.M., Fernandes, F.M., Maurenza, D., Pougy, N., Loyola, R., Martinelli, G. (Orgs.), 2014. Plano de Ação Nacional para a Conservação do Faveiro-de-Wilson (*Dimorphandra wilsonii* Rizzini). Andrea Jakobsson Estúdio : Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 52 p.
- Martz, F. A., and Belyea, R. L. (1986). Role of particle size and forage quality in digestion and passage by cattle and sheep. **Journal of dairy science**, 69(7), 1996-2008.
- Milotić, T., and Hoffmann, M. (2016). How does gut passage impact endozoochorous seed dispersal success? Evidence from a gut environment simulation experiment. **Basic and Applied Ecology**, 17(2), 165-176.
- Miranda, A. C., Miranda, H. S., Dias, I. D. F. O., and de Souza Dias, B. F. (1993). Soil and air temperatures during prescribed cerated fires in Central Brazil. **Journal of tropical ecology**, 9(3), 313-320.
- Mistry, J. (1998). Fire in the cerrado (savannas) of Brazil: an ecological review. **Progress in Physical Geography**, 22(4), 425-448.

- Muniz, A. C., Lemos-Filho, J. P., Buzatti, R. S. D. O., Ribeiro, P. C. C., Fernandes, F. M., and Lovato, M. B. 2019. Genetic data improve the assessment of the conservation status based only on herbarium records of a Neotropical tree. **Scientific Reports**, 9(1), 5693. doi: 10.1038/s41598-019-41454-0.
- Muniz A. C., Lemos-Filho J.P., Souza H. A., Marinho R. C., Buzatti R. S., Hertz M., and Lovato M. B. (2020). The protected tree *Dimorphandra wilsonii* (Fabaceae) is a population of inter-specific hybrids: recommendations of conservation in the Brazilian Cerrado/Atlantic Forest ecotone. **Annals of Botany**. 126: 191-203.
- Myers N.; Mittermeier R. A.; Mittermeier C. G.; Fonseca G. A. B.; Kent J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**. 403: 853-858.
- Nakao, E. A., e Cardoso, V. J. M. (2010). Recuperação e resposta germinativa de sementes de leguminosas passadas pelo trato digestório bovino. **Biota Neotropica**, 10, 189-195.
- Nascimento, I. V. (2001). Cerrado: o fogo como agente ecológico. **Territorium**, (8), 25-35.
- Oliveira, U., Soares-Filho, B., Bustamante, M., Gomes, L., Ometto, J. P., and Rajão, R. (2022). Determinants of fire impact in the Brazilian biomes. **Frontiers in Forests and Global Change**, 5, 735017.
- Pausas, J. G., and Lamont, B. B. (2022). Fire-released seed dormancy-a global synthesis. **Biological Reviews**, 97(4), 1612-1639.
- Pausas, J. G., Lamont, B. B., Keeley, J. E., & Bond, W. J. (2022). Bet-hedging and best-bet strategies shape seed dormancy. **The New Phytologist**, 236(4), 1232.
- Pivello, V. R., Vieira, I., Christianini, A. V., Ribeiro, D. B., da Silva Menezes, L., Berlinck, C. N., and Overbeck, G. E. (2021). Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. **Perspectives in Ecology and Conservation**, 19(3), 233-255.
- Ribeiro, L. C., and Borghetti, F. (2014). Comparative effects of desiccation, heat shock and high temperatures on seed germination of savanna and forest tree species. **Austral Ecology**, 39(3), 267-278.
- Rissi, M. N., Baeza, M. J., Gorgone-Barbosa, E., Zupo, T., and e Fidelis, A. (2017). Does season affect fire behaviour in the Cerrado? **International Journal of Wildland Fire**, 26(5), 427-433.

- Rocha, V. D. D., Dal'Sasso, T. C. D. S., Williams, C. C. V., Simon, M. F., Bueno, M. L., and Oliveira, L. O. D. (2024). From forest to savanna and back to forest: Evolutionary history of the genus *Dimorphandra* (Fabaceae). **Journal of Plant Research**, 137(3), 377-393.
- Rubio de Casas, R., Willis, C. G., Pearse, W. D., Baskin, C. C., Baskin, J. M., and Cavender-Bares, J. (2017). Global biogeography of seed dormancy is determined by seasonality and seed size: a case study in the legumes. **New Phytologist**, 214(4), 1527-1536.
- Salto C. H. (2006). PROBIO: Educação ambiental. Brasília, Departamento de Ecologia da Universidade de Brasília/MMA, 136 p.
- Schaedler, C. E., Scalcon, R. M., Viero, J. L. C., Chiapinotto, D. M., David, D. B., Rosa, F. Q., and Azevedo, E. B. (2021). Endozoochorous seed dispersal of glyphosate-resistant *Lolium multiflorum* by cattle. **The Journal of Agricultural Science**, 159(3-4), 243-248.
- Vacchiano, G., Pesendorfer, M. B., Conedera, M., Gratzer, G., Rossi, L., and Ascoli, D. (2021). Natural disturbances and masting: from mechanisms to fitness consequences. **Philosophical transactions of the Royal Society B**, 376(1839), 20200384.
- Vieira, L. T., Azevedo, T. N., Castro, A. A., and Martins, F. R. (2022). Reviewing the Cerrado's limits, flora distribution patterns, and conservation status for policy decisions. **Land Use Policy**, 115, 106038.
- Willis, C. G., Baskin, C. C., Baskin, J. M., Auld, J. R., Venable, D. L., Cavender-Bares, J., and NESCent Germination Working Group. (2014). The evolution of seed dormancy: environmental cues, evolutionary hubs, and diversification of the seed plants. **New Phytologist**, 203(1), 300-309.
- Whitacre, M. K., and Call, C. A. (2006). Recovery and germinability of native seed fed to cattle. **Western North American Naturalist**, 66(1), 121-128.
- Xu, J., Zhang, Z., Bai, S., Lv, Y., Shi, X., and Tan, D. (2022). Recovery and germination of *Malus sieversii* (Ledeb.) M. Roem.(Rosaceae) seeds after ingestion by cattle, horses, and sheep. **Sustainability**, 14(21), 13930.
- Zhang, W., Furtado, K., Wu, P., Zhou, T., Chadwick, R., Marzin, C., and Sexton, D. (2021). Increasing precipitation variability on daily-to-multiyear time scales in a warmer world. **Science advances**, 7(31), eabf8021.

APÊNDICE A - TABELAS DE RESULTADOS DAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Tabela A.1. Análise estatística das medições morfológicas de plantas de *D. exaltata* e/ou de *D. wilsonii* condicionadas a placas fecais, controle ou pós-placa fecal. Std. = Estimativa da desvio padrão; Sig = valores de p. Técnica estatística GLM e teste de Tukey a-posteriori foram aplicados. Valores em negrito indicam $P < 0,05$.

Análise	Variável	Espécie			Experimento			Proteção da semente			Irrigação		
		Std.	t	Sig	Std.	t	Sig	Std.	t	Sig	Std.	t	Sig
Comparação entre pós-placa fecal controle	IG	-	-	-	0,05179	-8,645	0,000000000108	0,06394	6,411 1	0,000000125	-	-	-
	VG	0,011802	-1,304	0,201368	0,01561	2,579	0,014560	0,01561	-4,954	0,0000211	0,01180	4,536	0,000072
	PG	-	-	-	0,23341	1,379	0,21	-	-	-	0,28587	-0,237	0,82
Comparação entre placa fecal e controle	IG	0,10059	2,007	0,05133	0,12878	3,268	0,00219	-	-	-	0,14568	1,869	0,06882
	VG	0,101250	-0,042	0,967	0,15679	-1,558	0,128	0,14436	-6,577	0,000000104	0,19541	-4,401	0,000088
	PG	-	-	-	0,2318	-0,253	0,80614	-	-	-	0,2459	-3,386	0,00805
Placa fecal	IG	16,78	-0,045	0,9646	-	-	-	33,01	1,731	0,0931	28,19	1,796	0,0819
	PE	11,345	-2,889	0,212	-	-	-	-	-	-	11,345	1,000	0,500
	TVP	0,1267	-2,200	0,034345	-	-	-	0,1877	-1,866	0,070195	0,1729	-3,706	0,000704

Tabela A.2. Análise estatística das medições morfológicas de plantas de *D. exaltata* e/ou de *D. wilsonii* condicionadas ao experimento de fogo. Std. = Estimativa da desvio padrão; Sig = valores de p. Técnica estatística GLM e teste de Tukey a-posteriori foram aplicados. Valores em negrito indicam $P < 0,05$.

		Espécie			Proteção da semente			Fogo			Fogo: Proteção da semente		
Variável		Std.	t	Sig	Std.	t	Sig	Std.	t	Sig	Std.	t	Sig
Fogo	IG	0,1130	1,872	0,08229	0,1158	3,298	0,00528	0,1804	-1,062	0,30633	-	-	-
	VG	0,1555	-2,764	0,016093	0,2057	-5,598	0,0000865	0,2057	4,472	0,000629	-	-	-
	PG	0,14346	-1,716	0,0958	0,14346	-1,716	0,0958	0,14346	8,375	0,0000000144	0,20289	-5,093	0,0000152