

Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD  
Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais - FCBA  
Programa de Pós-Graduação em  
Biodiversidade e Meio Ambiente - PPGBMA

Restaurando o Cerrado: Inovações em Semeadura Direta e Substratos Orgânicos  
para florestas aluviais

Joab Dória Domingos

Dourados-MS  
Maio – 2025

Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD  
Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais - FCBA  
Programa de Pós-Graduação em  
Biodiversidade e Meio Ambiente - PPGBMA

Joab Doria Domingos

RESTAURANDO O CERRADO: INOVAÇÕES EM SEMEADURA DIRETA  
E SUBSTRATOS ORGÂNICOS PARA FLORESTAS ALUVIAIS

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de MESTRE EM BIODIVERSIDADE E MEIO AMBIENTE.

Área de Concentração: Conservação dos Recursos Naturais

Orientadora: Zefa Valdivina Pereira

Dourados-MS

Maio – 2025

## FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

D671r Domingos, Joab Doria

Restaurando o Cerrado: Inovações em Semeadura Direta e Substratos Orgânicos para florestas aluviais [recurso eletrônico] / Joab Doria Domingos, Rita de Cassia Gonçalves Marques. -- 2025.

Arquivo em formato pdf.

Orientadora: Zefa Valdivina Pereira.

Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Meio Ambiente) -Universidade Federal da Grande Dourados, 2025.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:  
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Restauração de zonas húmidas. 2. Microtopografia. 3. Ecologia da restauração. 4. Substratos orgânicos. I. Marques, Rita de Cassia Gonçalves. II. Pereira, Zefa Valdivina. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.


# CERTIFICAÇÃO DE APROVAÇÃO

“RESTAURANDO O CERRADO: INOVAÇÕES EM SEMEADURA DIRETA E SUBSTRATOS ORGÂNICOS PARA FLORESTAS ALUVIAIS”


POR

**JOAB DORIA DOMINGOS**


DISSERTAÇÃO APRESENTADA À UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS (UFGD), COMO PARTE DOS REQUISITOS EXIGIDOS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM BIODIVERSIDADE E MEIO AMBIENTE - ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: “CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS NATURAIS”.

Documento assinado digitalmente  
 **ZEFA VALDIVINA PEREIRA**  
Data: 06/03/2025 18:20:35-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

**PROF.<sup>a</sup> DR.<sup>a</sup> ZEFA VALDIVINA PEREIRA**  
**ORIENTADORA – UFGD**

Documento assinado digitalmente  
 **JESSICA FERREIRA DA SILVA**  
Data: 07/03/2025 09:21:23-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

**PROF.<sup>a</sup> DR.<sup>a</sup> JESSICA FERREIRA DA SILVA**  
**MEMBRO TITULAR – UEMS**

Documento assinado digitalmente  
 **SHALINE SEFARA LOPES FERNANDES**  
Data: 06/03/2025 18:23:56-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

**PROF.<sup>a</sup> DR.<sup>a</sup> SHALINE SEFARA LOPES FERNANDES**  
**MEMBRO TITULAR – UEMS**

Aprovado em 06 de março de 2025.

## AGRADECIMENTOS

Com imensa satisfação, apresento minha dissertação de mestrado, acompanhada de minha mais profunda gratidão a todos os que contribuíram ao longo dessa jornada. Especialmente, expresso minha gratidão à minha orientadora Zefa Valdivina Pereira, por sua dedicação incansável, feedbacks valiosos e constante estímulo, tanto profissional quanto emocional, que foram cruciais para a conclusão deste projeto.

A minha gratidão se estende à minha esposa, pelo seu apoio incondicional e por me trazer a alegria inesquecível de ser pai de menina (Luna). Eu também expresso minha gratidão à minha mãe e aos meus irmãos, que, mesmo distantes, sempre me incentivaram.

Agradeço também os meus amigos que sempre estiveram dispostos a me ajudar, seja nos momentos bons, mas também nos momentos mais difíceis, em especial quando implantei esse experimento e na construção dessa dissertação.

Agradeço imensamente à Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo auxílio financeiro durante esses dois anos de pesquisa, o que me permitiu dedicar-me inteiramente e investir em capacitações.

Meu mais sincero agradecimento a todos aqueles que, de alguma maneira, contribuíram para este empreendimento. Espero que este trabalho seja um avanço significativo para a ecologia da restauração.

## RESTAURANDO O CERRADO: INOVAÇÕES EM SEMEADURA DIRETA E SUBSTRATOS ORGÂNICOS PARA FLORESTAS ALUVIAIS

### RESUMO:

O Cerrado, segundo maior bioma da América do Sul, cobre 1.983.017 km<sup>2</sup> (23,3%) do Brasil, está sob as três maiores bacias hidrográficas do continente, resultando em alto potencial aquífero e uma biodiversidade singular de espécies endêmicas. No entanto, a intensificação agrícola e práticas de manejo inadequadas têm levado à degradação dos ecossistemas, especialmente das florestas aluviais, que dependem de corpos d'água. Essa degradação altera as propriedades físicas e químicas do solo, dificultando a restauração ecológica e impactando o estabelecimento de mudas e a emergência de sementes, o que compromete a sobrevivência das espécies. Nesse sentido, o capítulo 1 teve como objetivo avaliar se o uso de montículos com diferentes substratos orgânicos favorece o estabelecimento e a sobrevivência de espécies de mudas nativas para áreas aluviais do Cerrado. O experimento, realizado com *Calophyllum brasiliense* Cambess (CB) e *Triplaris americana* L (TA), utilizou um delineamento inteiramente casualizado com dois fatores (presença e ausência de montículos) e quatro tratamentos (controle, casca de *Dipteryx alata* Vogel, moinha de carvão e uma mistura de ambos). A análise de variância (ANOVA two-way) e o teste de Tukey revelaram que o uso de montículos favoreceu o estabelecimento de *Calophyllum brasiliense*, com uma taxa de sobrevivência de 51,56% (66 mudas), enquanto *Triplaris americana* apresentou 35,94% (46 mudas). Os substratos orgânicos impactaram positivamente ambas as espécies. No segundo capítulo, o objetivo foi avaliar se o uso de montículos com diferentes substratos orgânicos favorece a emergência e a sobrevivência de sementes de espécies nativas em áreas aluviais do Cerrado. Com foco na emergência e sobrevivência de sementes de três espécies nativas (*Mauritia flexuosa* L.f, *Triplaris americana* L e *Protium heptaphyllum* (Aubl.) Marchand.) em áreas aluviais. A emergência foi de 12,16% (73 indivíduos), com 58,9% nos berços com montículos e 41,1% sem montículos. *Mauritia flexuosa* destacou-se como a espécie mais resiliente, com 59 indivíduos emergidos. Os resultados indicam que os montículos e substratos orgânicos são estratégias promissoras para a restauração de áreas aluviais, mas o sucesso depende das particularidades de cada espécie e das condições do solo.

**Palavras-chaves:** Restauração de zonas húmidas, microtopografia, ecologia da restauração, substratos orgânicos.

## RESTORING THE CERRADO: INNOVATIONS IN DIRECT SEEDING AND ORGANIC SUBSTRATES FOR ALLUVIAL FORESTS

### ABSTRACT

The Savannah, the second-largest biome in South America, covers 1,983,017 km<sup>2</sup> (23.3%) of Brazil and lies over the continent's three largest river basins, resulting in high aquifer potential and unique biodiversity with endemic species. However, agricultural intensification and inadequate management practices have led to ecosystem degradation, particularly in floodplain forests, which depend on water bodies. This degradation alters the soil's physical and chemical properties, hindering ecological restoration and impacting seedling establishment and seed emergence, thereby compromising species survival. In this context, Chapter 1 evaluated whether the use of mounds with different organic substrates favors the establishment and survival of native seedlings in Savannah floodplain areas. The experiment, conducted with *Calophyllum brasiliense* (CB) and *Triplaris americana* (TA), used a completely randomized design with two factors (presence and absence of mounds) and four treatments (control, *Dipteryx alata* Vogel bark, charcoal fines, and a mixture of both). Analysis of variance (ANOVA two-way) and Tukey's test revealed that mounds favored the establishment of *Calophyllum brasiliense*, with a survival rate of 51.56% (66 seedlings), while *Triplaris americana* showed 35.94% (46 seedlings). Organic substrates positively impacted both species. In Chapter 2, the objective was to evaluate whether the use of mounds with different organic substrates promotes the emergence and survival of native seeds in Cerrado floodplain areas. The study focused on the emergence and survival of seeds from three native species (*Mauritia flexuosa* L.f, *Triplaris americana* L e *Protium heptaphyllum* (Aubl.) Marchand.) in floodplain areas. Emergence was 12.16% (73 individuals), with 58.9% in mounds and 41.1% without mounds. *Mauritia flexuosa* stood out as the most resilient species, with 59 emerged individuals. The results indicate that mounds and organic substrates are promising strategies for restoring floodplain areas, but success depends on the specificities of each species and soil conditions.

**Keywords:** Wetland restoration, microtopography, restoration ecology, organic substrates.

## Sumário

<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	10
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	13
<b>ARTIGO 1 – Será submetido no Anais da Academia Brasileira de Ciências</b> .....	15
1. Resumo .....	16
2. Abstract .....	17
3. Introdução .....	18
4. Materiais e Métodos.....	20
Área de estudo.....	20
Delineamento Experimental.....	23
Análise dos dados.....	26
5. Resultados .....	27
6. Discussão .....	30
7. Conclusão.....	32
8. Financiamento.....	32
9. Referências.....	33
<b>ARTIGO 2 – Será submetido a revista Perspectives in Ecology and Conservation</b>	<b>40</b>
<b>Resumo</b> .....	41
<b>Introdução</b> .....	42
<b>Materiais e Métodos</b> .....	44
Área de estudo.....	44
Análise do solo .....	46
Análise do composto orgânico .....	47
Seleção das espécies.....	47
Delineamento Experimental.....	48
Análise dos dados.....	51
<b>Resultados</b> .....	52
<b>Discussão</b> .....	56
<b>Conclusão</b> .....	58
<b>Financiamento</b> .....	59
<b>Referências</b> .....	59

## INTRODUÇÃO GERAL

O Cerrado é o segundo maior Bioma do Brasil, abrangendo todas as grandes regiões do país, com sua maior concentração na região Centro-Oeste, onde ocupa 56,1% da área total (IBGE, 2019; MapBiomas, 2022). Reconhecido como segundo maior bioma da América do Sul, cobrindo 1.983.017 km<sup>2</sup> (23,3%) do Brasil e está localizada nas três maiores bacias hidrográficas do continente, resultando em alto potencial aquífero e uma biodiversidade singular de espécies endêmicas (Weichert *et al.* 2024; Strassburg *et al.* 2017). Além de sua importância ecológica, o Bioma atua como um significativo sumidouro de carbono, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas, e fornece serviços ecossistêmicos essenciais, como a produção de água e a estabilidade do solo (Sano *et al.* 2019). No entanto, a intensificação da agricultura, o desmatamento e as práticas de manejo inadequadas têm levado à degradação de seus ecossistemas, especialmente das florestas aluviais, que são fundamentais para a resiliência ambiental e a estabilidade hidrológica regional (Junk *et al.* 2014; Michel e Overbeck, 2024).

A vegetação do Cerrado apresenta uma diversidade estrutural notável, formada por um mosaico de fitofisionomias, como campos limpos, cerradões, matas ciliares, matas de galeria e florestas aluviais (IBGE, 2019). Estas últimas, encontradas em áreas sujeitas a alagamentos sazonais, são influenciadas por fatores como proximidade de cursos d'água, profundidade e composição do solo, além de variações climáticas regionais e frequência de queimadas (Junk *et al.* 2013). Entre os extremos de vegetação aberta e florestal densa, encontram-se formações intermediárias, como campos sujos e cerrado *sensu stricto*, que abrigam ampla diversidade de espécies adaptadas às condições específicas do bioma (Colli *et al.* 2020; Santos *et al.* 2023).

Dentre essas fitofisionomias, as florestas aluviais destacam-se por sua função crítica na preservação da biodiversidade e na regulação hidrológica (Santos *et al.* 2023). Essas áreas atuam como zonas de transição entre ambientes aquáticos e terrestres, contribuindo para a mitigação de enchentes e a manutenção dos ciclos hídricos, além de proteger contra eventos climáticos extremos (Junk *et al.* 2014). No entanto, as florestas aluviais estão entre os ecossistemas mais ameaçados do Cerrado, enfrentando pressões antrópicas que comprometem sua capacidade de fornecer serviços ecossistêmicos essenciais (Strassburg *et al.* 2020). A restauração dessas áreas é, portanto, uma prioridade,

mas enfrenta desafios significativos, como a variabilidade de umidade do solo e as inundações sazonais, que dificultam o estabelecimento de plantas (Bozelli, 2019).

Nesse contexto, a restauração ecológica surge como uma estratégia vital para mitigar os impactos antrópicos, recuperar a biodiversidade e restabelecer os serviços ecossistêmicos (Roma e Viana, 2023). Para florestas aluviais, especificamente, os desafios incluem regimes hidrológicos variáveis, solos encharcados e alta susceptibilidade a espécies invasoras (Santos *et al.* 2023). Técnicas como plantio de mudas, semeadura direta, nucleação (plantio de grupos de espécies para facilitar a regeneração natural) e manejo adaptativo (ajuste das práticas conforme os resultados observados) têm mostrado resultados promissores em biomas brasileiros, embora sua aplicação no Cerrado Sul-mato-grossense ainda careça de maior estudo (Brancalion e Holl, 2016; Koch e Kaplan, 2022).

Este trabalho aborda a necessidade de estratégias específicas para a restauração de florestas aluviais no Cerrado, com foco no uso de técnicas como a criação de montículos e a aplicação de substratos orgânicos. Os montículos, pequenas elevações de solo, têm se mostrado promissores ao criar microambientes que favorecem o desenvolvimento e o estabelecimento de plantas, melhorando a drenagem e reduzindo o impacto das inundações sazonais (Biederman e Whisenant, 2011; Brancalion *et al.* 2016). Além disso, a utilização de substratos como a casca de *Dipteryx alata Vogel* e a moinha de carvão pode potencializar a eficácia dessas técnicas, fornecendo nutrientes essenciais e melhorando a estrutura do solo (Campos *et al.* 2021).

A inovação deste estudo reside na combinação de montículos com a casca de *Dipteryx alata Vogel* como substrato orgânico, que é rica em matéria orgânica, nitrogênio e potássio. Elementos essenciais para o crescimento das plantas (Yuan *et al.* 2021). Além disso, a casca de *Dipteryx alata Vogel*, um resíduo agroindustrial frequentemente descartado, foi escolhida por seu potencial como substrato natural, capaz de melhorar a estrutura do solo e a disponibilidade de nutrientes, agregando valor para a comunidade local. A semeadura direta, por sua vez, foi selecionada por sua eficácia em áreas com solos encharcados, um dos principais desafios das florestas aluviais (Silva *et al.* 2015).

Essa dissertação aborda estratégias inovadoras para a restauração de florestas aluviais do Cerrado, sendo estruturada em dois artigos. No primeiro, investiga-se a

eficácia de montículos e substratos naturais no estabelecimento de espécies nativas (*Calophyllum brasiliensis* Cambess e *Triplaris americana* L) em áreas alagadas do Cerrado. Já no segundo, explora-se a técnica de Semeadura Direta associada a montículos e substratos naturais, com foco no crescimento inicial de plântulas de espécies nativas (*Triplaris americana* L, *Protium heptaphyllum* (Aubl.) Marchand e *Mauritia flexuosa* L.f.). Essa divisão permite uma análise detalhada e progressiva das técnicas propostas, evidenciando sua relevância para a recuperação desses ecossistemas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIEDERMAN, L. A.; WHISENANT, S. G. Using Mounds to Create Microtopography Alters Plant Community Development Early in Restoration. *Restoration Ecology*, [S. l.], v. 19, n. 101, p. 53–61, jan. 2011.

BOZELLI, R. L. The challenge of restoring tropical freshwater ecosystems. *Acta Limnologica Brasiliensia*, [S. l.], v. 31, p. e110, 2019.

BRANCALION, P. H. S.; HOLL, K. D. Functional composition trajectory: a resolution to the debate between Suganuma, Durigan, and Reid. *Restoration Ecology*, [S. l.], v. 24, n. 1, p. 1–3, jan. 2016.

CAMPOS, C. N. S. et al. Macronutrient deficiency in cucumber plants: impacts in nutrition, growth and symptoms. *Journal of Plant Nutrition*, [S. l.], v. 44, n. 17, p. 2609–2626, 21 out. 2021.

COLLI, G. R.; VIEIRA, C. R.; DIANESE, J. C. Biodiversity and conservation of the Cerrado: recent advances and old challenges. *Biodiversity and Conservation*, [S. l.], v. 29, n. 5, p. 1465–1475, abr. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Org.). *Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250 000*. Rio de Janeiro: IBGE, 2019(Série Relatórios metodológicos, volume 45).

JUNK, W. J. et al. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, [S. l.], v. 24, n. 1, p. 5–22, fev. 2014.

JUNK, Wolfgang J. et al. Current state of knowledge regarding the world's wetlands and their future under global climate change: a synthesis. *Aquatic Sciences*, [S. l.], v. 75, n. 1, p. 151–167, jan. 2013.

KOCH, A.; KAPLAN, J. O. Tropical forest restoration under future climate change. *Nature Climate Change*, [S. l.], v. 12, n. 3, p. 279–283, mar. 2022.

MAPBIOMAS. *Coleção 7 da Série Histórica de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil*. Projeto MapBiomass, 2022.

MICHEL, T.; OVERBECK, G. Review of Ecological Restoration in the Brazilian Pampa. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, [S. l.], v. 96, n. 4, p. e20231283, 2024.

ROMA, J. C.; VIANA, J. P. Biodiversidade e serviços ecossistêmicos: temas indissociáveis e estratégicos para o desenvolvimento econômico, socialmente inclusivo e ambientalmente sustentável do Brasil. *Boletim Regional, Urbano e Ambiental (BRUA)*: n. 30, [S. l.], v. 30, p. 63–72, 28 nov. 2023.

SANO, E. E. et al. Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. *Journal of Environmental Management*, [S. l.], v. 232, p. 818–828, fev. 2019.

SANTOS, R. M. S., et al. (2023). Hydrological and ecological functions of riparian zones in tropical savannas: Case studies from the Cerrado. *Hydrological Processes*, 37(9), e15023.

SILVA, R. R. P. et al. Direct seeding of Brazilian savanna trees: effects of plant cover and fertilization on seedling establishment and growth. *Restoration Ecology*, [S. l.], v. 23, n. 4, p. 393–401, jul. 2015.

STRASSBURG, B. B. N. et al. Global priority areas for ecosystem restoration. *Nature*, [S. l.], v. 586, n. 7831, p. 724–729, 29 out. 2020.

STRASSBURG, B. B. N. et al. Moment of truth for the Cerrado hotspot. *Nature Ecology & Evolution*, [S. l.], v. 1, n. 4, p. 0099, 23 mar. 2017.

WEICHERT, R. F. et al. CERRADO EM DESTAQUE: O PAPEL VITAL DO CERRADO NA BIODIVERSIDADE DO PLANETA. *Árvores, Plantas e Frutos do Cerrado: aplicações e possibilidades*. 1. ed. [S. l.]: Editora Científica Digital, 2024. p. 32–67. Disponível em: <http://www.editoracientifica.com.br/articles/code/240315956>. Acesso em: 22 fev. 2025.

YUAN, Z. et al. Converting cropland to plantation decreases soil organic carbon stock and liable fractions in the fertile alluvial plain of eastern China. *Geoderma Regional*, [S. l.], v. 24, p. e00356, mar. 2021.

**ARTIGO 1 – Será submetido no Anais da Academia Brasileira de Ciências**

Os Montículos e Substratos Orgânicos Influenciam no Sucesso do Plantio em  
Florestas Aluviais do Bioma Cerrado

Joab Doria Domingos <sup>a</sup>, Rita de Cassia Gonçalves Marques <sup>b</sup>, Zefa Valdivina Pereira <sup>c</sup>.

<sup>a</sup> Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Meio Ambiente, Universidade Federal da Grande Dourados, 79804970, Mato Grosso do Sul, MS, Brasil.

<sup>b</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal da Grande Dourados, 79804970, Mato Grosso do Sul, MS, Brasil.

<sup>c</sup> Professora Adjunta da Universidade Federal da Grande Dourados, 79804970, Mato Grosso do Sul, MS, Brasil.

## 1. Resumo

O Cerrado é um dos hotspots da biodiversidade, abrigando importantes mananciais e florestas aluviais essenciais para a conservação da biodiversidade e manutenção dos recursos hídricos. No entanto, a perda de habitat e a degradação dessas florestas têm comprometido o estabelecimento de espécies vegetais e levado ao esgotamento dos mananciais. No entanto, intervenções de restauração ecológica tornam-se indispensáveis para mitigar esses impactos. Desta forma, este estudo avaliou se o uso de montículos consorciado com diferentes substratos orgânicos, favorece o estabelecimento e a sobrevivência de espécies nativas para áreas alagadas do Cerrado. O experimento foi executado no assentamento Teijin (MS) sob um delineamento inteiramente casualizado (2x4), com dois fatores (B1 - presença e B2 - ausência de montículos), submetido a quatro tratamentos (C - controle, DA - casca de *Dipteryx alata* Vogel, CA - moinha de carvão e DA+CA - mistura dos dois). utilizou-se análise de variância (ANOVA) seguida do teste de Tukey. Verificou-se que a combinação de montículos com casca de baru (B1-DA) promoveu a maior taxa de sobrevivência (45,28%). Os resultados indicam que a integração de montículos com substratos, como a casca de *Dipteryx alata* Vogel, representa uma abordagem eficaz para a restauração de áreas alagadas no Cerrado, promovendo a recuperação de processos ecológicos essenciais e fortalecendo a capacidade de resiliência do ecossistema.

**Palavras-chaves:** Restauração ecológica, substratos orgânicos, estresse hídrico, microtopografia.

## 2. Abstract

The Savannah is one of the world's biodiversity hotspots, home to vital water sources and alluvial forests that are crucial for biodiversity conservation and water resource maintenance. However, habitat loss and the degradation of these forests have hindered the establishment of plant species and led to the depletion of water sources. Consequently, ecological restoration interventions have become essential to mitigate these impacts. This study evaluated whether the use of mounds combined with different organic substrates promotes the establishment and survival of native species in waterlogged areas of the Cerrado. The experiment was conducted in the Teijin settlement (MS) under a completely randomized design (2x4), with two factors (B1 - presence and B2 - absence of mounds) and four treatments (C - control, DA - *Dipteryx alata* Vogel bark, CA - charcoal fines, and a mixture of both). Analysis of variance (ANOVA) followed by Tukey's test was used. The results showed that the combination of mounds with *baru* bark (B1-BA) resulted in the highest survival rate (45.28%). The findings indicate that integrating mounds with substrates, such as *Dipteryx alata* Vogel bark, is an effective approach for restoring waterlogged areas in the Cerrado, promoting the recovery of essential ecological processes and enhancing the ecosystem's resilience capacity.

**Keywords:** Ecological restoration, organic substrates, water stress, microtopography.

### 3. Introdução

Considerado a savana com a maior biodiversidade do planeta, o Bioma Cerrado desempenha um papel fundamental tanto em escala regional quanto global (Weichert et al. 2024). Sua importância ecológica está diretamente ligada à regulação de ciclos hídricos, à manutenção de bacias hidrográficas e à conservação de uma diversidade biológica única, que inclui espécies endêmicas e ameaçadas de extinção (Strassburg et al. 2017). Além disso, o Cerrado atua como um importante sumidouro de carbono, contribuindo para a mitigação das variações climáticas, e fornece serviços ecossistêmicos essenciais, como a produção de água e a estabilidade do solo (Sano et al. 2019).

Entre os variados ecossistemas do Cerrado, as florestas aluviais se destacam por sua função essencial na preservação da biodiversidade e na regulação hidrológica, especialmente ao atuar como zonas críticas para a infiltração de água e para a mitigação de enchentes (Junk et al. 2014). Essas características tornam as florestas aluviais fundamentais para a resiliência ambiental e a estabilidade hidrológica regional (Michel e Overbeck 2024). No entanto, essas áreas alagáveis estão entre os ecossistemas mais ameaçados do Cerrado, devido à intensificação da agricultura, ao desmatamento e às práticas de manejo inadequadas, que diminuem sua capacidade de fornecer serviços ecossistêmicos essenciais (Strassburg et al. 2020; Boonman et al. 2024).

O aumento da degradação nas florestas aluviais demanda estratégias de restauração que promovam a recuperação de suas funções ecológicas (Chazdon et al. 2016). Contudo, a restauração dessas áreas enfrenta desafios significativos. Estudos indicam que o sucesso no estabelecimento de plantas é frequentemente prejudicado pela variabilidade de umidade do solo e pelas inundações sazonais características desses ecossistemas (Bozelli 2019). Embora diversas técnicas de restauração sejam aplicadas em áreas de Cerrado, são raras aquelas ajustadas especificamente às condições hidrológicas dinâmicas das florestas aluviais, o que limita a eficácia de intervenções restauradoras

nesses ecossistemas (Sano et al. 2019). Nesse sentido, a necessidade de estratégias específicas para restaurar as funções ecológicas dessas áreas se torna cada vez mais evidente (Suding et al. 2016).

Uma abordagem promissora para superar essas dificuldades é a criação de montículos, que são pequenas elevações de solo capazes de criar microambientes que favorecem o desenvolvimento e estabelecimento de plantas (Biederman & Whisenant 2011). Essa técnica tem o potencial de melhorar a drenagem, reduzir o impacto das inundações sazonais e ajudar a reter a umidade em períodos de seca, criando condições mais favoráveis para o crescimento e a sobrevivência inicial das plantas (Brancalion et al. 2016). Além disso, ao modificar a estrutura do solo, os montículos podem diminuir a competição das espécies nativas com espécies invasoras, promovendo um ambiente que favorece o desenvolvimento de raízes profundas e robustas, essenciais para o restabelecimento da vegetação nativa e para a recuperação dos processos ecológicos locais (Latawiec et al. 2023).

A aplicação de adubos em áreas de Cerrado, entretanto tem gerado controvérsias. Enquanto alguns estudos destacam a baixa necessidade de insumos em solos naturalmente adaptados (Silva & Vieira 2017; Alves et al. 2018), outros evidenciam que a adubação pode acelerar o desenvolvimento inicial de espécies nativas em solos degradados (Berti et al. 2017; Silva et al. 2022). Avaliar a interação dessas técnicas é fundamental para potencializar a eficácia das práticas de restauração em áreas aluviais.

Além de contribuir para o aprimoramento das práticas locais, este estudo poderá servir como referência para a implementação de técnicas de restauração em florestas aluviais de outros biomas brasileiros. Espera-se que os resultados obtidos fortaleçam políticas públicas voltadas à recuperação ambiental e à mitigação dos impactos das mudanças climáticas, contribuindo para a sustentabilidade ecológica de longo prazo.

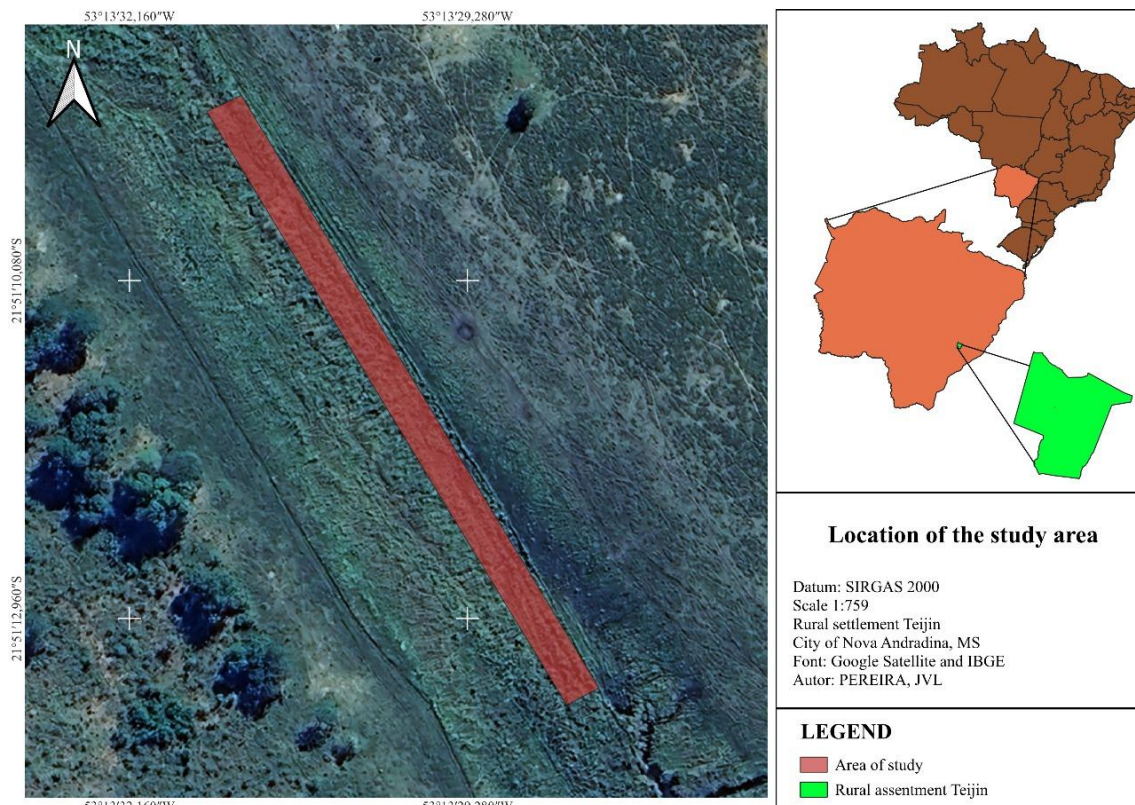
Diante deste contexto, o objetivo deste estudo é avaliar se o uso de montículos com diferentes substratos orgânicos favorece o estabelecimento e a sobrevivência de espécies de mudas nativas para áreas aluviais do Cerrado.

#### 4. Materiais e Métodos

##### Área de estudo

O estudo foi realizado em uma área de Preservação Permanente do Assentamento Teijin, que fica localizado em Casa Verde, Distrito de Nova Andradina, Mato Grosso do Sul (Figura 1).

**Figura 1.** Localização da área de estudo, delimitado por um retângulo vermelho



**Fonte:** Os autores 2025.

A imagem obtida por drone (Figura 2) apresenta uma visão vertical da área de estudo, destacando os berços implementados em novembro de (2023). Segundo Gonçalves et al. (2018), berços são estruturas de cultivo que, nessa pesquisa, foram organizados em linhas e apresentam variações na presença ou ausência de montículos

consoiciados a diferentes substratos (Gonçalves et al. 2018). A presença de montículos é evidente devido ao acúmulo de material, contrastando com as áreas planas dos berços sem montículos. Essa disposição permite uma análise comparativa das características morfológicas e do impacto dos substratos no desenvolvimento das estruturas.

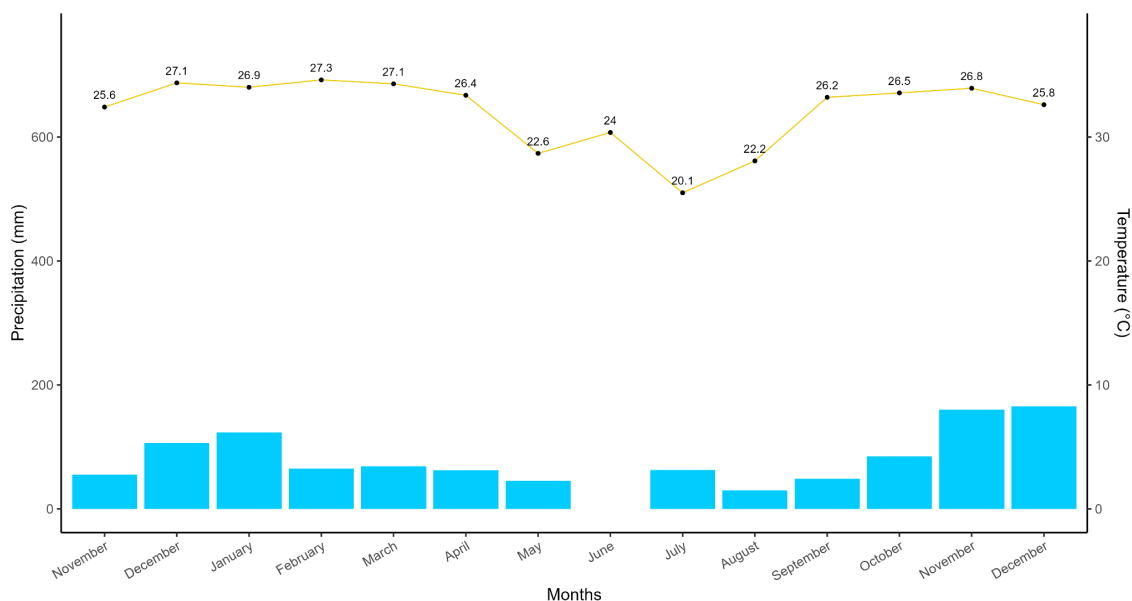
**Figura 2.** Área do experimento após implantação, fotografado de cima com uso de drone.



**Fonte:** Os autores 2025.

A altitude média da área é de 476 m e o clima, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger é do tipo Aw, clima do tipo savânico, com inverno seco: a temperatura média do mês mais frio é 19,5°C, e a do mês mais quente é 25,6°C; no mês mais seco a precipitação pluviométrica é menor que 60 mm, e a precipitação média anual variando entre 1230 mm e 1390 mm (Alvares et al. 2013).

**Figura 3.** Climograma mensal de precipitações (mm) e temperatura média (°C), no período de novembro de 2023 a dezembro de 2024 na cidade de Nova Andradina, MS (Fonte: CEMTEC 2024).



**Fonte:** Os autores 2025.

A cobertura vegetal nativa predominante da região é característica do Bioma Cerrado, estando circundada por grandes áreas de produção agropecuária (pastagens, soja, milho e cana de açúcar). As fitofisionomias observadas na região conforme IBGE (2019) caracterizam-se como Cerrado *Sensu stricto*, Cerradão, Mata de Galeria e Campo Limpo.

O solo predominante na área experimental classifica-se como Argissolo Amarelo Distrófico (Santos 2018), sendo característico de áreas em transição entre climas úmidos e semiáridos. Para complementar a caracterização do solo, foi realizada uma análise química para avaliação da fertilidade. A análise foi realizada com amostras coletadas na camada superficial do solo (0 a 20 cm). A coleta foi realizada em novembro de 2024, utilizando um trato do tipo Holandês.

Foram analisados diversos parâmetros químicos e físicos para avaliar a fertilidade do solo. Entre os parâmetros químicos, destacam-se: pH H<sub>2</sub>O, pH em CaCl<sub>2</sub>, Matéria Orgânica (M.O.), Fósforo (P), Potássio (K<sup>+</sup>), Cálcio (Ca<sup>2+</sup>), Magnésio (Mg<sup>2+</sup>), Alumínio

(Al<sup>3+</sup>), Soma de Bases (SB), Capacidade de Troca Catiônica (CTC), Saturação por Bases (V%), Saturação por Alumínio (m%). Além disso, foram analisados os micronutrientes: Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), bem como as relações entre Nutrientes, como Ca/Mg, Ca/K e Mg/K.

Além disso, foi realizada análise de composto orgânico a fim de obter informações sobre a composição química de três amostras: Moinha de Carvão, Casca de *Dipteryx alata* Vogel e Moinha de Carvão + Casca de *Dipteryx alata* Vogel. Essa análise juntamente com a do solo, foram realizadas pelo laboratório Solo Fértil, localizado em Maracaju, Mato Grosso do Sul, seguindo as metodologias descritas no Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Ministério da Agricultura 2017).

### **Delineamento Experimental**

O experimento foi implantado em novembro de 2023 com o apoio dos membros do Laboratório de Restauração Ambiental (LABRA) da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). O estudo foi realizado em uma área úmida, utilizando o plantio de mudas com a presença e ausência de montículos (Figura 4). Utilizou-se dois tipos de berços, um no nível do solo, seguindo métodos convencionais amplamente utilizados na restauração de áreas degradadas, e outro usando montículos. Esses montículos foram preparados por meio da confecção de pequenos montes de solo, com dimensões de 40 cm de altura e 60 cm de largura (cerca de 4 baldes de 30 L para cada montículo).

**Figura 4.** Variação das técnicas. A: Plantio de muda com montículo. B: Plantio de muda sem montículo



Fonte: Os autores 2025.

Foram utilizadas duas espécies de áreas úmidas, sendo elas, *Calophyllum brasiliensis* Cambess. e *Triplaris americana* L. (Figura 5).

**Figura 5.** Espécies utilizadas no plantio, representadas pelas letras A: *Calophyllum brasiliensis* Cambess. e B: *Triplaris americana* L.



Fonte: Os autores 2025.

*Calophyllum brasiliense* Cambess. (Calophyllaceae) é uma espécie arbórea de crescimento lento, com alta capacidade de dispersão de sementes, ampla distribuição no Brasil (Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul) e ocorrência em diversos ecossistemas, como florestas pantanosas, ciliares, de igapó, de várzea, estacionais e restingas. Adaptada a ambientes inundados e sensível a déficits hídricos, desempenha papel crucial na sucessão ecológica e na recuperação de áreas degradadas. (Coelho et al. 2021).

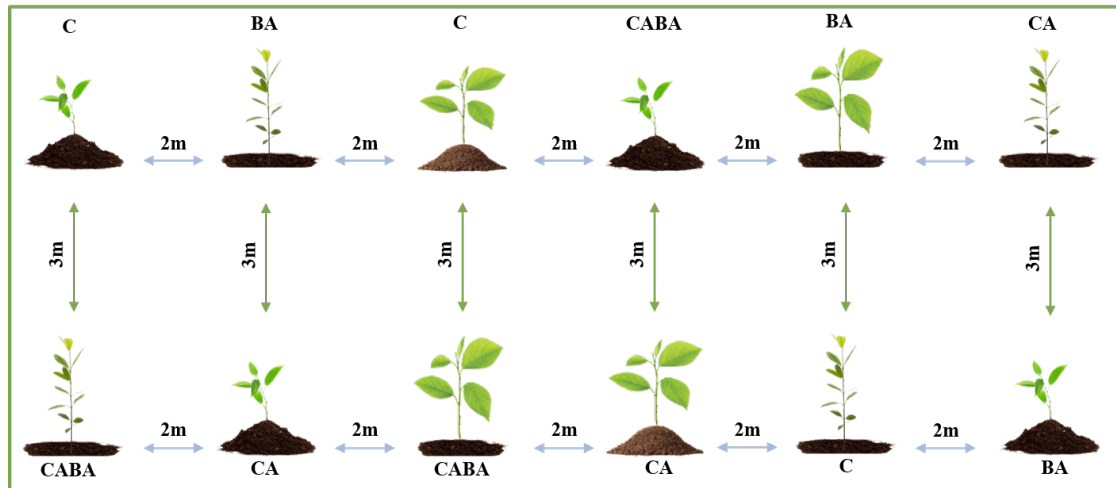
*Triplaris americana* L. (Polygonaceae) é uma espécie arbórea de crescimento rápido, com alta capacidade de dispersão de sementes, ampla distribuição no Brasil (Norte, Centro-Oeste, Sudeste e Sul) e ocorrência em formações como Floresta Ciliar e Floresta Ombrófila. Utilizada como ornamental e na medicina tradicional, desempenha papel importante na sucessão ecológica e na recuperação de áreas degradadas (Pires et al. 2014).

O experimento foi iniciado em 18 de novembro de 2023 em uma área de aproximadamente 0,5 hectares, na qual foi realizada avaliação mensal durante 12 meses. A forma de plantio foi caracterizada em linhas, seguindo o nível do terreno, com montículos e sem montículos, de acordo com o tratamento usado, estando ela submetida a um espaçamento de 3 m entre linhas e 2 m entre berços. O controle das plantas daninhas foi realizado a cada 6 meses através da capina manual entre as linhas e coroamento em volta das mudas.

Este estudo foi fundamentado num delineamento inteiramente casualizado, sob um arranjo (2x4), com dois fatores (B1- presença e B2- ausência de montículos), submetido a quatro tratamentos (C- controle, BA- casca de *Dipteryx alata* Vogel, CA- moinha de carvão e CABA - mix de casca de *Dipteryx alata* Vogel com moinha de carvão). 2x2x4x4x4 = 2x = Planta (2 espécies) 2x = Montículos (presença e ausência) 4x

= Tratamento 4x = Repetição 4x = 4 mudas em cada repetição, totalizando 128 mudas de *Triplaris americana* L. e 128 mudas de *Calophyllum brasiliensis* Cambess. (Figura 6).

**Figura 6.** Croqui do delineamento experimental.



**Fonte:** Os autores 2025.

### Análise dos dados

Avaliou-se a sobrevivência e o estabelecimento das mudas ao longo do tempo, com o pacote survival (Therneau T, 2024) e a análise de variância (ANOVA two-way) com o pacote car (John Fox and Sanford Weisberg, 2019), seguida do teste de Tukey. A verificação dos pressupostos foi realizada por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Levene. Nenhuma espécie apresentou normalidade nos resíduos, o que é esperado em dados naturais, que nem sempre seguem uma distribuição normal. No entanto, foi observada homogeneidade das variâncias para *Calophyllum brasiliense* Cambess. (Df =7, F = 0.9387; p = 0.4754) e para *Triplaris americana* L., após transformação logarítmica (Df = 7, F= 0.9296; p = 0.4824). Todas as análises foram realizadas no RStudio 4.3.3 (R Core Team, 2024).

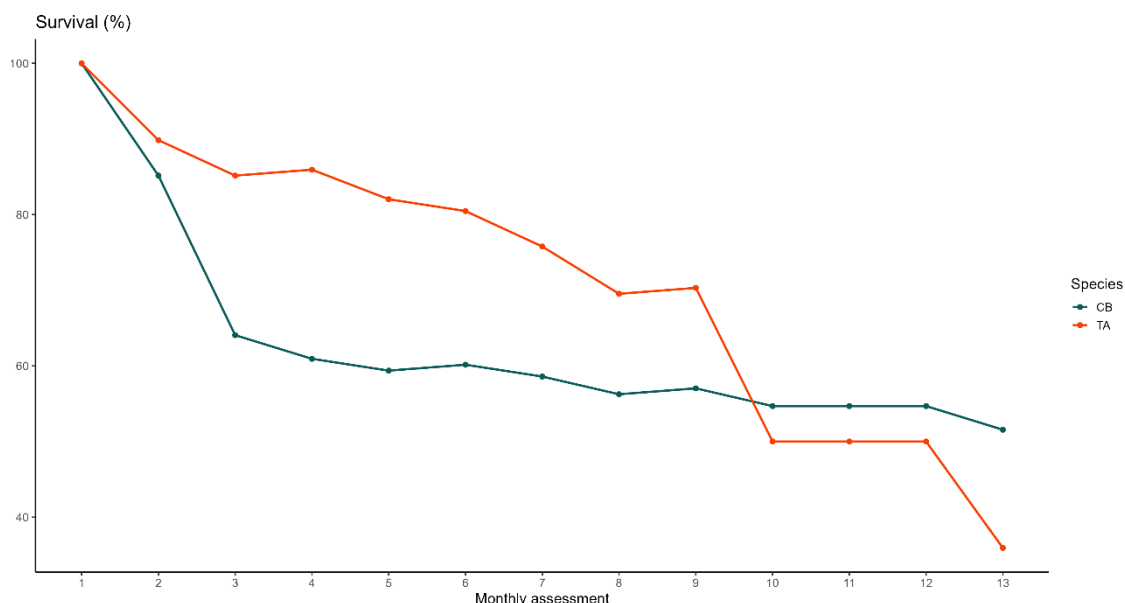
A análise do solo seguiu os procedimentos analíticos estabelecidas pela Embrapa. Para a determinação dos teores de fósforo (P), potássio (K), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al),

utilizou-se o extrator Mehlich 1. O pH foi mensurado em água e em solução de CaCl<sub>2</sub>, enquanto a matéria orgânica (M.O.) foi quantificada por meio de oxidação com dicromato de sódio e ácido sulfúrico. A textura do solo foi determinada com base na proporção de argila, silte e areia, e a capacidade de troca catiônica (CTC) foi calculada para avaliação da fertilidade do solo.

## 5. Resultados

Foram plantadas um total de 256 mudas, sendo 128 mudas de cada espécie. Ao longo das 13 avaliações, houve um declínio gradual na taxa de sobrevivência para ambas espécies. A *Calophyllum brasiliensis* Cambess., apresentou maior resiliência ao longo do tempo, com uma taxa de sobrevivência de 51.56% (66 mudas), embora mais da metade das mudas tenham morrido. Enquanto a *Triplaris americana* L. teve uma taxa de sobrevivência de 35.94% (46 mudas), indicando que apenas cerca de um terço das mudas sobreviveu ao período total do estudo (Figura 7).

**Figura 7.** Análise de sobrevivência das espécies, destacadas pela coloração vermelho para *Triplaris americana* L. e verde para *Calophyllum brasiliensis* Cambess.



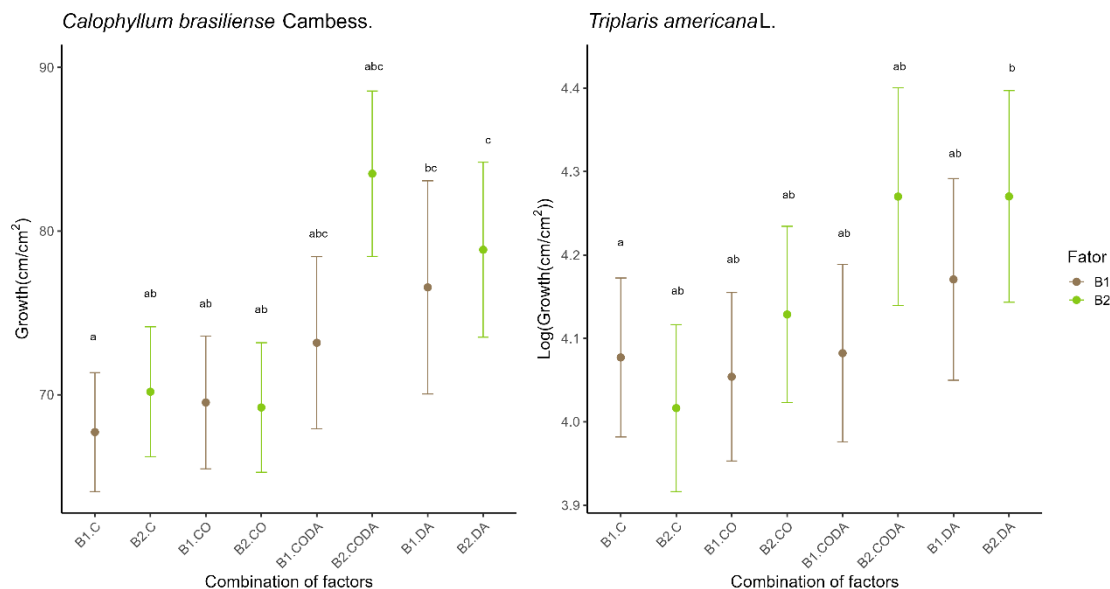
**Fonte:** Os autores 2025.

A análise de variância revelou que o uso de montículos favorece o estabelecimento de *Calophyllum brasiliense* Cambess. ( $F^{1,3}=5.035$ ;  $p=0.025$ ), mas não

para *Triplaris americana* L. ( $F^{1,3}=2.162$ ;  $p =0.1417$ ). Enquanto, os tratamentos com substratos orgânicos tiveram um impacto significativo no estabelecimento de ambas as espécies, sendo mais pronunciado em *Calophyllum brasiliense* Cambess. ( $F^{1,3}=9.157$ ;  $p =0.001$ ).

O teste de Tukey para a espécie *Calophyllum brasiliense* Cambess. (CB) revelou que B2 e os tratamentos com CODA e DA favoreceram significativamente o crescimento das mudas em comparação com o controle (C) e outros substratos. Por outro lado, B1 com os substratos C (controle) e CO resultou em reduções significativas no crescimento das mudas (Figura 8. Para a espécie *Triplaris americana* L. (TA), o uso de montículos combinado com os tratamentos C (controle), CO e CODA resultou em reduções significativas no crescimento das mudas. Já o tratamento com DA não apresentou efeito significativo sobre o crescimento (Figura 8b).

**Figura 8.** Análise do crescimento relativo. As cores distintas representam o fator (B1 – presença de montículos expressada na cor marrom e B2 – ausência de montículos representada na cor verde). As letras representam o teste de médias de Tukey.



Fonte: Os autores 2025.

A textura do solo foi determinada utilizando um densímetro, resultando em uma classificação de textura média, composta por 24,95% de argila, 22,80% de silte e 52,25% de areia total. Esta categorização é fundamental para compreender a capacidade do solo reter água e nutrientes, bem como sua aeração.

Os testes químicos indicaram um pH de 5,1 na água e 4,3 no CaCl<sub>2</sub>. O teor da matéria orgânica (MO) foi de 74 g/dm<sup>3</sup>. Os níveis de fósforo e potássio foram de 3,5 e 40,7 mg/dm<sup>3</sup> e 1,0 mmol<sub>a</sub>/dm<sup>3</sup>, respectivamente. Os teores de cálcio e magnésio alcançaram 5 mmol<sub>a</sub>/dm<sup>3</sup> e 2 mmol<sub>a</sub>/dm<sup>3</sup>. A acidez potencial (H+Al) atingiu 102 mmol<sub>a</sub>/dm<sup>3</sup>, enquanto a capacidade de troca catiônica (CTC) foi estimada em 109,8 mmol<sub>a</sub>/dm<sup>3</sup>, a saturação foi de 7,4% indicando baixa disponibilidade de cátions trocáveis (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup>) e alta saturação por alumínio (69,4%).

Além disso, os teores de micronutrientes foram determinados utilizando o extrator Mehlich-1. O cobre (Cu), apresentou um valor de 87,6 mg/dm<sup>3</sup>, enquanto o ferro (Fe) atingiu 230,2 mg/dm<sup>3</sup>, o manganês (Mn) 5,6 e o zinco (Zn) com 3,7.

No que diz respeito aos substratos, os tratamentos com Casca de *Dipteryx alata* Vogel e Moinha de Carvão + Casca de *Dipteryx alata* Vogel apresentou teores de MO (21.5%, 22.1%, respectivamente) e CO (12.5 %, 12.8 %, respectivamente) mais altos em comparação com a Moinha de Carvão. Com relação aos macronutrientes (g/kg) o fósforo está em níveis baixos em todos os tratamentos, sendo mais crítico na Casca de *Dipteryx alata* Vogel 1 g/kg. Em termos de potássio o tratamento com Casca de *Dipteryx alata* Vogel apresentou o maior teor 5. 9, enquanto a Moinha de Carvão teve o maior teor de cálcio 9.9. O magnésio e o enxofre estão em níveis semelhantes entre os tratamentos, mas ligeiramente mais altos na Moinha de Carvão (Tabela 1).

**Tabela 1.** Resultado da análise de composto orgânico com os principais componentes analisados: Matéria Orgânica (MO) e Carbono Orgânico (CO). Além de macronutrientes: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio

(K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S). E Micronutrientes: Boro (B), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn).

Tratamentos	%		Macronutrientes (g/kg)						Micronutrientes (mg/kg)				
	MO	CO	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
MOINHA DE CARVÃO	6.3	3.7	8.3	1.9	2.1	9.9	1.6	1.9	27.9	15.6	15630	503.2	61.1
CARVÃO + CASCA DE BARU	21.5	12.5	7.5	1.5	3.3	6.9	1.1	1.3	27.7	12.1	9925	329.7	30
CASCA DE BARU	22.1	12.8	12.3	1	5.9	6.1	1.1	0.9	27	8	1769	171.6	26.3

Fonte: Silva 2025.

Já os Micronutrientes (mg/kg), os teores de Fe e Mn são extremamente altos na Moinha de Carvão, o que pode indicar toxicidade, especialmente em solos encharcados, onde esses elementos podem estar em formas reduzidas e tóxicas. A Casca de *Dipteryx alata* Vogel. apresentou os menores teores, sugerindo menor risco de toxicidade. Os maiores teores de Zn e Cu foram achados no tratamento com Moinha de Carvão, enquanto a Casca de *Dipteryx alata* Vogel teve os menores (Tabela 1).

## 6. Discussão

Embora esperasse que a presença de montículos fosse mais eficaz no crescimento das mudas, os resultados indicaram que a ausência dessas estruturas foi mais eficiente. Esse fato pode estar relacionado à predação, principalmente da espécie *Triplaris americana* L. que, ao longo das avaliações, teve suas folhas e caules constantemente predadas. Essa vulnerabilidade pode estar associada à dependência das espécies de uma relação simbiótica com formigas do gênero *Pseudomyrmex*, que protegem a planta contra herbívoros. Em locais onde essas formigas estão ausentes, a planta torna-se mais suscetível a pragas e predadores (Gonçalves et al. 2018).

Ainda que se esperasse um número maior de sobrevivência das espécies, houve influência direta de fatores bióticos, como formigas que predavam constantemente o caule

das mudas, em destaque a *Triplaris americana* L., e o gado, que, mesmo com a presença de cerca, predou boa parte das mudas de *Calophyllum brasiliense* Cambess.

Apesar disso, a espécie que mais se destacou foi a *Calophyllum brasiliense* Cambess, com uma taxa de sobrevivência de 51,56% (66 mudas), enquanto a *Triplaris americana* L. teve uma taxa de 35,94% (46 mudas). Esses resultados indicam que a *Calophyllum brasiliense* Cambess é mais resistente às condições do ambiente em restauração, possivelmente devido à sua maior adaptação a solos com alta saturação de alumínio e baixa fertilidade, características observadas no solo estudado (Nicolay et al. 2022). Por outro lado, a baixa taxa de sobrevivência da *Triplaris americana* L. pode estar relacionada à sua menor tolerância a solos ácidos e à competição por recursos em condições adversas (Strassburg et al. 2017).

No caso dos substratos orgânicos, especialmente a casca de *Dipteryx alata* Vogel, houve um impacto positivo no crescimento de ambas as espécies, com efeito mais significativo na *Calophyllum brasiliense* Cambess. Os tratamentos com casca de *Dipteryx alata* Vogel apresentaram os maiores teores em matéria orgânica (22,1%) e carbono orgânico (12,8%), o que pode ter contribuído para a melhoria da estrutura do solo e da disponibilidade de nutrientes. Por outro lado, a Moinha de Carvão apresentou teores elevados de ferro e manganês, que podem ser tóxicos em solos encharcados, explicando a redução no crescimento das mudas nesse tratamento (Singh et al. 2021).

A textura do solo, classificada como média, influenciou a capacidade de retenção de água e nutrientes. A baixa saturação de cátions trocáveis e a alta saturação por alumínio indicam um solo com baixa fertilidade natural, o que limitou o crescimento das mudas, especialmente da *Triplaris americana*, que é menos tolerante a essas condições (Siqueira e Rodrigues, 2022).

Os teores de micronutrientes, como ferro e manganês, foram extremamente elevados na Moinha de Carvão, o que pode ter causado toxicidade, principalmente em condições de encharcamento. Em contraste, a Casca de *Dipteryx alata* Vogel apresentou teores mais equilibrados, sugerindo menor risco de toxicidade e maior adequação para uso em restauração ecológica como um substrato natural, que auxilia no desenvolvimento das mudas (Tabela 1).

## 7. Conclusão

Os resultados deste estudo evidenciam que os tratamentos favorecem significativamente o crescimento de espécies nativas, como *Calophyllum brasiliensis* Cambess. e *Triplaris americana* L., em comparação com o tratamento controle. Embora os montículos associados aos substratos variados, exerçam influência não tão significativo.

Além disso, a taxa de sobrevivência das mudas varia consideravelmente conforme o tratamento aplicado. O *Calophyllum brasiliensis* Cambess., registrou o maior índice de sobrevivência 51,56% (66 mudas), reforçando a relevância do uso de substratos. Enquanto a *Triplaris americana* L. teve uma taxa de sobrevivência de 35,94% (46 mudas), indicando que apenas cerca de um terço das mudas sobreviveu ao período total do estudo.

Em resumo, os resultados deste estudo ressaltam a importância da integração entre montículos e substratos, além de favorecer o crescimento de espécies nativas, contribuir para avanço do conhecimento sobre técnicas de restauração ecológica em áreas aluviais. No entanto, se faz necessário analisar combinações com outras espécies, com intuito de investigar a efetividade das técnicas na restauração de áreas úmidas.

## 8. Financiamento

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior – Brasil (CAPES);

O Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq);

Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT);  
Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD).

## 9. Referências

ALMEIDA RF & OLIVEIRA PR. (2023). Challenges in the restoration of alluvial forests: Addressing hydrological dynamics. *Journal of Restoration Ecology*, 31(4), 1056-1068.

ALVES VN, TORRES JLR, LANA RMQ, PINHEIRO MHO. Nutrient cycling between soil and leaf litter in the Cerrado (Brazilian savanna) on eutrophic and dystrophic Neosols. *Acta Botanica Brasilica*, v. 32, n. 2, p. 169–179, 8 jan. 2018.

BERTI CLF, KAMADA T, SILVA MP, MENEZES JFS, OLIVEIRA ACS. Crescimento de mudas de baru em substrato enriquecido com nitrogênio, fósforo e potássio. *Cultura Agronômica: Revista de Ciências Agronômicas*, v. 26, n. 2, p. 191–202, abr. 2017.

BIEDERMAN LA & WHISENANT SG. Using Mounds to Create Microtopography Alters Plant Community Development Early in Restoration. *Restoration Ecology*, v. 19, n. 101, p. 53–61, jan. 2011.

BOONMAN CCF ET AL. More than 17,000 tree species are at risk from rapid global change. *Nature Communications*, [S. l.], v. 15, n. 1, p. 166, 2 jan. 2024.

BOZELLI RL. The challenge of restoring tropical freshwater ecosystems. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 31, p. e110, 2019.

BRANCALION PH & HOLL KD. Functional composition trajectory: a resolution to the debate between Suganuma, Durigan, and Reid. *Restoration Ecology*, v. 24, n. 1, p. 1–3, 2016.

CAMPOS CNS ET AL. Macronutrient deficiency in cucumber plants: impacts in nutrition, growth and symptoms. *Journal of Plant Nutrition*, v. 44, n. 17, p. 2609–2626, 21 out. 2021.

CHAKRABORTI RK & BAYS JS. Constructed Wetlands Using Treated Membrane Concentrate for Coastal Wetland Restoration and the Renewal of Multiple Ecosystem Services. *Land*, v. 12, n. 4, p. 847, 7 abr. 2023.

CHAZDON RL ET AL. When is a forest a forest? Forest concepts and definitions in the era of forest and landscape restoration. *Ambio*. 45, 5, 538-550, 2016.

COELHO MCB, BARILLI J, VARAVALLO MA, ENCINAS JMI & ERPEN ML. 2021. Viabilidade de Plantio da Espécie *Calophyllum brasiliense*, 1 ed., Bookerfield Editora.

DONAGEMA GK, CAMPOS DVB, CALDERANO SB, TEIXEIRA WG, VIANA JHM. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

EICHLER-LÖBERMANN B, ZICKER T, KAVKA M, BUSH S, BRANDT C, STAHN P, MIEGEL K. Mixed cropping of maize or sorghum with legumes as affected by long-term phosphorus management. *Field Crops Research*, v. 265, p. 108120, maio 2021.

FLORIAN HARTIG. DHARMa: Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level / Mixed) Regression Models., 2024.

FLYNN NE, COMAS LH, STEWART CE, STEVEN J. Deficit irrigation drives maize root distribution and soil microbial communities with implications for soil carbon dynamics. *Soil Science Society of America Journal*, v. 85, n. 2, p. 412–422, mar. 2021.

GONÇALVES FLA, RESENDE AS, LIMA ISS, CHAER GM. Manual Crowning Versus Cardboard in Forest Restoration: Costs and Effect on Seedling Development. *Planta Daninha*, v. 36, n. 0, 29 out. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (ED.). *Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250 000*. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO. *Calophyllum brasiliensis*. Flora e Funga do Brasil, [s. l.], 2023.

JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO. *Triplaris americana*. Flora e Funga do Brasil, [s. l.], 2023.

JUNK WJ ET AL. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. 24, 1, 5-22, 2014.

KUULUVAINEN T & JUNTUNEN P. Seedling establishment in relation to microhabitat variation in a windthrow gap in a boreal *Pinus sylvestris* forest. *Journal of Vegetation Science*, [S. l.], v. 9, n. 4, p. 551–562, ago. 1998.

LAL R. Digging deeper: A holistic perspective of factors affecting soil organic carbon sequestration in agroecosystems. *Global Change Biology*, v. 24, n. 8, p. 3285–3301, ago. 2018.

LAMBERS H, CHAPIN FS & PONS TL. 2008. *Plant Physiological Ecology*, New York, NY: Springer New York.

LATAWIEC AE ET AL. Research priorities for applied soil science. v. 15, n. 29, 2023.

MARSCHNER P, eds. 2012. Marschner's mineral nutrition of higher plants, 3rd ed ed., London; Waltham, MA: Elsevier/Academic Press, 651 p.

MICHEL T & OVERBECK G. Review of Ecological Restoration in the Brazilian Pampa. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 96, n. 4, p. e20231283, 2024.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PEA. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos. [s.l.] Mapa, 2017.

NICOLAY J, SCHEPERS M, NIEUWHOF A. (EDS.). Embracing the salt marsh: foraging, farming and food preparation in the Dutch-German coastal area up to AD 1600: studies in honour of Annet Nieuwhof. Groningen: Eelde, the Netherlands: Vereniging voor Terpenonderzoek ; Barkhuis Publishing, 2022.

NIE WJ, DU HD, XIE SS, BI YL. The function of phytogenic mounds in the accumulation and conservation of soil seed banks in semiarid areas with water erosion. *Frontiers in Environmental Science*, [S. l.], v. 12, p. 1427928, 5 ago. 2024.

OCHIAN LV, PIÑEROS MA, LIU J, MAGALHAES JV. Plant adaptation to acid soils: The molecular basis for crop aluminum resistance. *Annual Review of Plant Biology*, v. 66, p. 571-598, 2015.

TEIXEIRA PC, DONAGEMMA GK, FONTANA A, TEIXEIRA WG. Manual de métodos de análise de solo – 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

PINHEIRO JC & BATES DM. *Mixed-Effects Models in S and S-PLUS*. 1. ed. Springer New York, NY: Statistics and Computing, 2000.

PIOTROWSKI RK, SANTOS LM, TORRES JP. 2023. Strategies for ecological restoration in dynamic hydrological systems. *Ecological Applications*, 33(5), e2765.

PIRES EM, SILVA LC, BATIROLA LD, NOGUEIRA RM, BARRETO MR & CORASSA JN. 2014. *Triplaris americana* L. (Polygonaceae), a New Host Plant For *Aethalion reticulatum* (Linnaeus, 1767) (Hemiptera: Aethalionidae). *Braz arch biol technol* 58: 31–33.

POORTER H, NIKLAS KJ, REICH PB, OLEKSYN J, POOT P & MOMMER L. 2012. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New Phytologist* 193: 30–50.

R CORE TEAM R. A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, 2024.

RAIJ BV, ANDRADE JC, CANTARELLA H, QUAGGIO JA. *Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais*. Campinas, Instituto Agrônomo, 285p. 2001.

RODRIGUES RR, LIMA RAF, GANDOLFI S, NAVE AG. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. *Biological Conservation, Conservation Issues in the Brazilian Atlantic Forest*. v. 142, n. 6, p. 1242–1251, 1 jun. 2009.

SAGWAL A, WADHWA P, SHUBHAM, KAUSHAL S. Essentiality of Micronutrients in Soil: A Review. *International Journal of Plant & Soil Science*, v. 35, n. 24, p. 56–65, 26 dez. 2023.

SANO EE ET AL. Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. *Journal of Environmental Management*, v. 232, p. 818–828, fev. 2019.

SANTOS HG. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5ª edição revista e ampliada ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SCHOEN C, AUMOND JJ, STÜRMER SL. Microtopographies and soil conditioners on growth and nutrition of *Eucalyptus saligna* in abandoned agricultural field. *Ciência Florestal*, [S. l.], v. 32, n. 2, p. 793–811, 24 jun. 2022.

SILVA OMD, NIERI E, SANTANA LS, ALMEIDA R. Adubação fosfatada no crescimento inicial de sete espécies florestais nativas destinadas à recuperação de uma área degradada. *Ciência Florestal*, v. 32, n. 1, p. 371–394, 25 mar. 2022.

SILVA RRP & VIEIRA DLM. Direct seeding of 16 Brazilian savanna trees: responses to seed burial, mulching and an invasive grass. *Applied Vegetation Science*, v. 20, n. 3, p. 410–421, jul. 2017.

SINGH N. ET AL. Regulation of arsenic stress response by ethylene biosynthesis and signaling in *Arabidopsis thaliana*. *Environmental and Experimental Botany*, [S. l.], v. 185, p. 104408, maio 2021.

SHIPLEY B. 2004. Cause and correlation in biology: a user's guide to path analysis, structural equations and causal inference, 1. paperback ed., with corr., transferred to digital print ed., Cambridge: Cambridge Univ. Press, 317 p.

STRASSBURG BBN ET AL. 2020. Global priority areas for ecosystem restoration. *Nature*, 586, 724–729.

SUDING K, SPOTSWOOD E, CHAPPLE D, BELLER E, GROSS C. Ecological Dynamics and Ecological Restoration. Em: PALMER, M. A.; ZEDLER, J. B.; FALK, D. A. (Eds.). *Foundations of Restoration Ecology*. Washington, DC: Island Press/Center for Resource Economics, 2016. p. 27–56.

WEICHERT RF ET AL. Cerrado Em Destaque: O Papel Vital do Cerrado na Biodiversidade do Planeta. Em: Árvores, Plantas e Frutos do Cerrado: aplicações e possibilidades. 1. ed. [s.l.] Editora Científica Digital, 2024. p. 32–67.

YUAN Z, XUEMEI J, QINGWEI G, APPIAH OM. Converting cropland to plantation decreases soil organic carbon stock and liable fractions in the fertile alluvial plain of eastern China. *Geoderma Regional*, v. 24, p. e00356, mar. 2021.

ZHANG H ET AL. Impact of Microtopography and Neighborhood Effects on Individual Survival Across Life History Stages. *Plants*, [S. l.], v. 13, n. 22, p. 3216, 15 nov. 2024.

## **ARTIGO 2 – Será submetido a revista *Perspectives in Ecology and Conservation***

### **Semeadura Direta e Montículos: Estratégias Inovadoras para a Restauração de Florestas Aluviais do Cerrado**

Joab Doria Domingos <sup>a</sup>, Rita de Cassia Gonçalves Marques <sup>b</sup>, Zefa Valdivina Pereira <sup>c</sup>.

<sup>a</sup> Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Meio Ambiente, Universidade Federal da Grande Dourados, 79804970, Mato Grosso do Sul, MS, Brasil.

<sup>b</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal da Grande Dourados, 79804970, Mato Grosso do Sul, MS, Brasil.

<sup>c</sup> Professora Adjunta da Universidade Federal da Grande Dourados, 79804970, Mato Grosso do Sul, MS, Brasil.

#### **Destaques**

- A semeadura direta associada a montículos e substratos naturais mostrou-se eficaz para a emergência e desenvolvimento de espécies nativas.
- A combinação de montículos com casca de *Dipteryx alata* Vogel foi o mais eficiente, destacando-se pela melhoria na retenção de umidade e disponibilidade de nutrientes.
- A espécie *Mauritia flexuosa* L.f. foi a que mais emergiu diante dos tratamentos com a presença de montículos.

## Resumo

Cerrado, a savana mais biodiversa do mundo, desempenha um papel crucial na regulação hídrica e na conservação da biodiversidade. No entanto, áreas aluviais, essenciais para a absorção de água e mitigação de enchentes, vêm sendo degradadas por práticas agroindustriais inadequadas. Considerando esse cenário, o presente trabalho teve como objetivo avaliar se o uso de montículos com diferentes substratos orgânicos favorece a emergência e a sobrevivência de sementes de espécies nativas em áreas aluviais do Cerrado. Foram utilizadas três espécies nativas: *Mauritia flexuosa* L.f, *Triplaris americana* L e *Protium heptaphyllum* (Aubl.) Marchand. O experimento, realizado no Assentamento Teijin (MS), empregou montículos e diferentes substratos (casca de *Dipteryx alata* Vogel, moinha de carvão e uma mistura de ambos). A análise do solo revelou textura média, baixa fertilidade e alta saturação de alumínio, enquanto os substratos orgânicos apresentaram teores variados de nutrientes, com a casca de *Dipteryx alata* Vogel destacando-se por maior matéria orgânica e nitrogênio. A emergência das sementes foi de 12,16%, com *Mauritia flexuosa* L.f, apresentando a maior taxa (59 indivíduos), seguida por *Triplaris americana* L (12) e *Protium heptaphyllum* (Aubl.) Marchand (2). Os montículos favoreceram a emergência, mas seu impacto variou entre as espécies. A análise de variância indicou que *Mauritia flexuosa* L.f, foi significativamente beneficiada pela presença de montículos, enquanto *Triplaris americana* L respondeu melhor aos tratamentos com substratos. A baixa emergência de *Protium heptaphyllum* sugere exigências específicas não atendidas. Conclui-se que a técnica de semeadura direta com montículos e substratos orgânicos é promissora, mas deve considerar as particularidades de cada espécie para otimizar a restauração de áreas alagadas no Cerrado.

**Palavras-chaves:** Técnicas de restauração ecológica, microambientes de restauração, microfotografias, sementes.

## Introdução

O Cerrado se destaca por ser a savana com a maior biodiversidade do mundo, exercendo funções cruciais não apenas regionalmente, mas também globalmente, principalmente na regulação de ciclos hídricos e na preservação de uma das mais belas diversidades biológicas (Strassburg et al. 2017). Estando distribuído em todas as grandes Regiões, com sua maior concentração presente na região do Centro-Oeste, onde ocupa 56,1% da área total (IBGE 2019). Em Mato Grosso do Sul esta formação ocupa cerca de 65,5% da área total do Estado (MapBiomias 2022).

A vegetação do Cerrado possui uma fisionomia diversificada, variando desde formações campestres abertas, como os campos limpos de cerrado, até formas florestais densas, como as matas de galeria e os cerradões (Ribeiro e Walter 1998). Entre estes extremos, encontram-se várias formas intermediárias, incluindo campos sujos, campos dos cerrados e cerrado sensu stricto (Silva et al. 2015). Dentre esses ecossistemas, as florestas aluviais possuem um papel fundamental na conservação e regulação hidrológica, em particular na atuação como zonas críticas para a absorção de água e mitigação de enchentes (Junk et al. 2014). Tais particularidades tornam essas áreas essenciais para a resiliência ambiental e estabilidade hidrológica regional (Michel e Overbeck 2024).

Apesar da importância ecológica destas áreas, elas vêm sendo afetadas constantemente, devido uma política voltada apenas ao aumento da produção de culturas agroindustriais de grandes mercados, juntamente com desmatamentos e práticas inadequadas no manejo, reduzindo sua capacidade no fornecimento de serviços ecossistêmicos (Bozelli et al. 2018; Strassburg et al. 2020).

Em decorrência das ações antrópicas, há uma demanda por restauração das funções ecológicas dos ecossistemas destruídos ao longo do tempo (Chazdon et al. 2016). Contudo uma das questões desafiadoras em programas de restauração para o Cerrado é selecionar uma técnica eficiente para o plantio (Ribeiro 2017). Ademais, estudos apontam que o sucesso no estabelecimento de plântulas oriundas da semeadura direta é constantemente afetado pela oscilação da umidade do solo e devido às inundações sazonais proeminentes dos aspectos desses ecossistemas (Bozelli 2019). Embora tenha a aplicação de várias técnicas de restauração para o Cerrado, são incomuns aquelas ajustadas exclusivamente às condições hidrológicas variados dessas áreas, limitando o êxito nas intervenções de restauração nesses ecossistemas (Brançalion et al. 2010). Dessa

forma, para restaurar as funções ecológicas é necessário que sejam tomadas medidas vinculadas aos déficits existentes (Suding et al. 2016).

A fim de superar essas dificuldades, é necessário que sejam tomadas medidas não usuais, como o uso da sementeira direta que vêm sendo bastante promissoras devido a sua praticidade, rapidez e baixo custo de implantação, quando comparada a outras técnicas (Doust et al. 2006; Bonilla-Moheno e Holl 2010; Pereira et al. 2014; Brancalion et al. 2016). A técnica consiste em distribuir as sementes diretamente no solo da área a ser restaurada (Derpsch et al. 2010). Além disso, o uso da sementeira direta associada aos montículos podem ser uma abordagem essencial para superar essas adversidades, uma vez que, são pequenas elevações do solo capazes de formar microambientes favorecendo o desenvolvimento e o estabelecimento das plântulas (Biederman e Whisenant 2011). Essa técnica pode melhorar a drenagem, reduzir o impacto das inundações sazonais e ajudar na retenção de umidade em períodos de seca, criando condições favoráveis para o crescimento e sobrevivência inicial das plântulas (Chakraborti e Bays 2023).

Levando em consideração a diversificação das técnicas, o uso de adubos em áreas do Cerrado são alternativas viáveis. Porém, o assunto gera controvérsias, enquanto alguns estudos apontam a baixa utilidade de insumos em solos naturalmente adaptados (Silva e Vieira 2017; Alves et al. 2018), outros revelam que a adubação tem o potencial de acelerar o desenvolvimento de espécies nativas em solos degradados (Berti et al. 2017; Silva et al. 2022).

Este estudo visa aprofundar a compreensão dos processos envolvidos na restauração de áreas alagadas, com foco no uso da sementeira direta em consórcio com montículos e substratos naturais como a casca de *Dipteryx alata* Vogel e a moínha de carvão. Essa abordagem é particularmente relevante devido à importância dessas áreas não apenas para a conservação da biodiversidade e a proteção dos recursos hídricos, mas também para a qualidade de vida das populações humanas que dependem dos serviços ecossistêmicos proporcionados por esses ambientes.

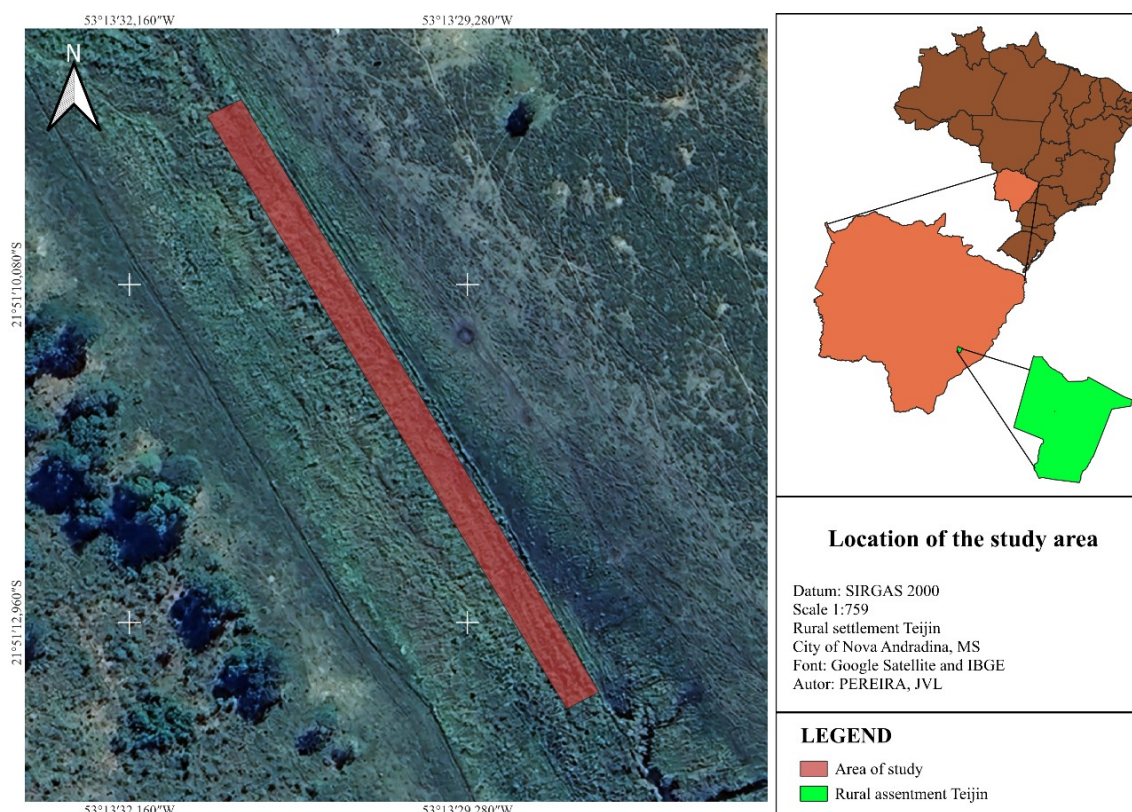
Portanto, o objetivo foi avaliar se o uso de montículos com diferentes substratos orgânicos favorece a emergência e a sobrevivência de sementes de espécies nativas em áreas aluviais do Cerrado.

## Materiais e Métodos

### Área de estudo

Este trabalho foi realizado em uma área de Preservação Permanente do Assentamento Teijin, que fica localizado em Casa Verde, Distrito de Nova Andradina, Mato Grosso do Sul, coordenadas  $21^{\circ}51'12.960''\text{S} / 53^{\circ}13'29.280''\text{W}$  (Figura 1).

**Figura 1.** Localização da área de estudo, delimitada por um retângulo vermelho.



**Fonte:** Os autores, 2025.

A imagem obtida com uso de drone (Figura 2) oferece uma perspectiva vertical do local de estudo, ressaltando os berços instalados em novembro de 2023. De acordo com Gonçalves et al. (2018), berços consistem em estruturas de cultivo que, neste estudo, foram dispostos em linhas e apresentam variações quanto à presença ou ausência de montículos, que foram consorciados em diferentes substratos. A visualização dos montículos é clara devido ao acúmulo de material, contrastando com as áreas planas dos berços sem montículos. Essa disposição possibilita uma análise comparativa das propriedades morfológicas e do efeito dos substratos no progresso das estruturas.

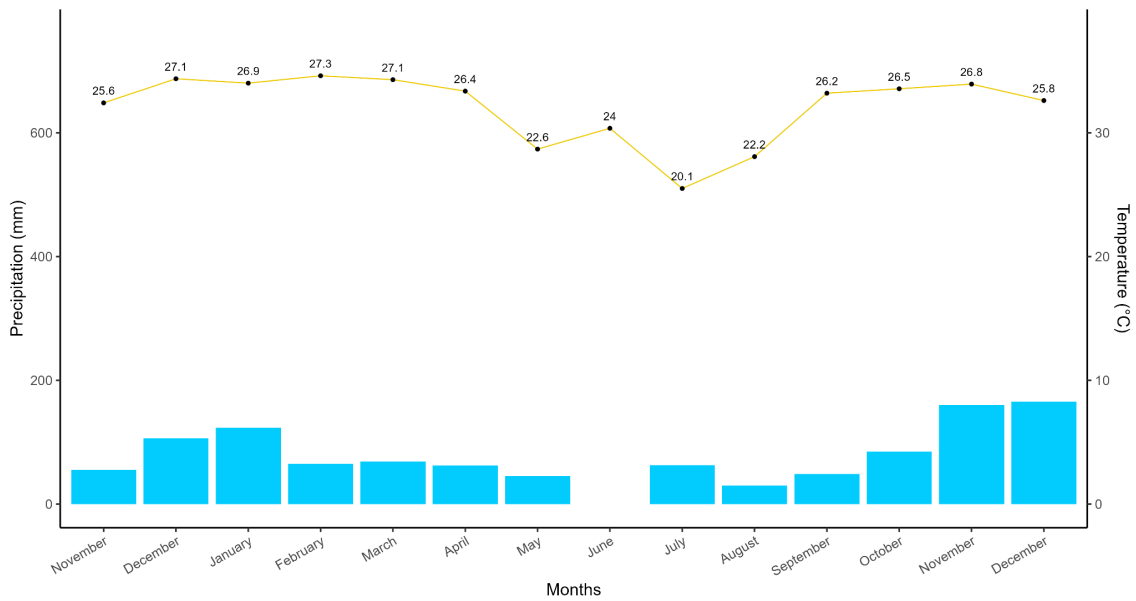
**Figura 2.** Área do experimento após implantação fotografado de cima com uso de drone.



**Fonte:** Os autores, 2025.

A altitude média da área é de 476 m e o clima, segundo a classificação climática de Koppen-Geiger é do tipo Aw, clima do tipo savânico, com inverno seco: a temperatura média do mês mais frio é 19,5°C, e a do mês mais quente é 25,6°C; no mês mais seco a precipitação pluviométrica é menor que 60 mm, e a precipitação média anual variando entre 1230 mm e 1390 mm (Alvares et al. 2013).

**Figura 3.** Climograma mensal de precipitações (mm) e temperatura média (°C), no período de novembro de 2023 a dezembro de 2024 na cidade de Nova Andradina, MS (Fonte: CEMTEC 2024).



**Fonte:** Os autores 2025.

A cobertura vegetal nativa predominante na região pertence ao Bioma Cerrado, um dos ecossistemas mais biodiversos do mundo e de grande importância ecológica e econômica (Strassburg et al. 2017). O local de estudo está circundado por extensas áreas de produção agropecuária, como pastagens, cultivo de soja, milho e cana de açúcar, o que evidencia a pressão antrópica sobre esse Bioma. As fitofisionomias observadas na região, conforme classificação do IBGE (2019), incluem o Cerrado *Sensu stricto*, Cerradão, Mata de Galeria e Campo Limpo.

### **Análise do solo**

O solo predominante na área experimental é classificado como Argissolo Amarelo Distrófico (Santos 2018), típico de regiões de transição entre climas úmidos e semiáridos. Este tipo de solo é caracterizado por sua baixa fertilidade natural e vulnerabilidade à erosão, o que justifica a necessidade de estudos mais aprofundados para a conservação e manejo adequado. Para uma caracterização mais precisa, foi realizada uma análise química para avaliar a fertilidade do solo, com amostras coletadas na camada superficial do solo (0 a 20 cm de profundidade), uma vez que essa é a camada mais afetada pelas práticas agrícolas e pela matéria orgânica. A coleta ocorreu em novembro de 2024, utilizando um trato do tipo Holandês.

Diversos parâmetros químicos e físicos foram analisados para avaliar a fertilidade do solo, uma vez que esses indicadores são fundamentais para compreender a

disponibilidade de nutrientes e a capacidade de suporte do solo para a vegetação. Entre os parâmetros químicos, destacam-se: pH H<sub>2</sub>O, pH em CaCl<sub>2</sub>, Matéria Orgânica (M.O.), Fósforo (P), Potássio (K<sup>+</sup>), Cálcio (Ca<sup>2+</sup>), Magnésio (Mg<sup>2+</sup>), Alumínio (Al<sup>3+</sup>), Soma de Bases (SB), Capacidade de Troca Catiônica (CTC), Saturação por Bases (V%) e Saturação por Alumínio (m%). Adicionalmente, foram avaliados os micronutrientes Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), essenciais para o metabolismo vegetal em menores quantidades, bem como as relações entre Nutrientes (Ca/Mg, Ca/K e Mg/K), que auxiliam no diagnóstico de desequilíbrios nutricionais do solo.

### **Análise do composto orgânico**

Complementarmente, foi realizado uma análise de compostos orgânicos para determinar a composição química de três amostras: Moinha de Carvão, Casca de *Dipteryx alata* Vogel e o mix de Moinha de Carvão com Casca de *Dipteryx alata* Vogel. Esses materiais foram escolhidos por serem frequentemente tratados como resíduos agroindustriais, sendo descartados após a extração da amêndoa, apesar do seu potencial como substratos naturais na recuperação de solos degradados, contribuindo para a melhoria da estrutura e fertilidade do solo. As análises, tanto do solo quanto dos compostos orgânicos, foram conduzidas pelo laboratório Solo Fértil, localizado em Maracaju, Mato Grosso do Sul, de acordo com as metodologias descritas no Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Ministério da Agricultura 2017).

### **Seleção das espécies**

Foram utilizadas três espécies proeminentes de áreas úmidas, *Triplaris americana* L., *Protium heptaphyllum* (Aubl.) Marchand e *Mauritia flexuosa* L.f. Estas espécies desempenham papéis ecológicos fundamentais em seus respectivos habitats, contribuindo para a regeneração florestal e a manutenção da biodiversidade.

*Triplaris americana* L. pertence à família Polygonaceae e apresenta um crescimento rápido e grande taxa de dispersão de sementes, o que é crucial para a sucessão ecológica. Ela está presente em Florestas Ciliares, Matas de Galeria e Florestas Ombrófilas, podendo se estabelecer em áreas degradadas e prevenir a erosão do solo (Pires et al. 2014).

*Protium heptaphyllum* (Aubl.) Marchand, pertence à família Burseraceae, é um arbusto amplamente distribuído na América do Sul. Presente em diversos ecossistemas, como Campinaranas e Savanas Amazônicas, é considerada uma espécie-chave por fornecer alimento para a fauna e contribuir para a regeneração florestal (Silva et al. 2024).

*Mauritia flexuosa* L.f. pertence à família Arecaceae, é uma palmeira adaptada a áreas alagadas, formando grandes populações em regiões como a Amazônia e o Cerrado. Seus frutos são ricos em carotenoides, servindo como fonte nutricional para a fauna e comunidades humanas. Além disso, os ecossistemas dominados por esta espécie são importantes depósitos de carbono, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas (Almeida et al. 2024).

### **Delineamento Experimental**

O experimento foi instaurado em novembro de 2023, com o apoio dos membros do Laboratório de Restauração Ambiental (LABRA) da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). O estudo foi realizado em uma área úmida, utilizando a semeadura direta em consórcio com montículos (Figura 4). Utilizou-se dois tipos de berços, um no nível do solo, seguindo métodos convencionais amplamente utilizados na restauração de áreas degradadas, e outro usando montículos. Esses montículos foram preparados por meio da confecção de pequenos montes de solo, com dimensões de 40 cm de altura e 60 cm de largura. A escolha dessas dimensões tem como objetivo proporcionar condições únicas para a emergência dessas sementes, como na melhoria na drenagem e diminuição da competição com plantas daninhas. Além disso, os montículos podem auxiliar na proteção contra possíveis inundações em áreas alagadas, um aspecto crucial no começo do desenvolvimento das espécies.

**Figura 4.** Variação das técnicas. A: Semeadura direta com montículos. B: Semeadura direta sem montículos.



Fonte: Os autores, 2025.

A fim de avaliar a viabilidade das sementes utilizadas no experimento, foram separadas 10 sementes de cada espécie e submetidas ao teste de tetrazólio por 24 horas, após o período de coloração 90% das sementes do *Protium heptaphyllum* (Aubl.) Marchand se mostraram viáveis, enquanto as sementes do *Triplaris americana* L., apresentaram um resultado similar 80%, e por fim, a *Mauritia flexuosa* L.f., apresentou percentual de 100% de viabilidade.

O experimento foi iniciado em 18 de novembro de 2023 em uma área de aproximadamente 0,5 hectares, e avaliado mensalmente num período de 12 meses através da mensuração da altura e diâmetro dos indivíduos, visando analisar o desenvolvimento e estabelecimento das espécies. A semeadura foi realizada em linhas, seguindo o nível do terreno, com montículos e sem montículos, de acordo com o tratamento usado, estando ela submetida a um espaçamento de 3 m entre linhas e 2m entre os tratamentos. Para o controle das plantas daninhas, foram realizados a cada 3 meses capina manual entre as linhas e coroamento em volta dos tratamentos.

Este estudo foi fundamentado num delineamento inteiramente casualizado, sob um arranjo (2x4), com dois fatores (presença e ausência de montículos), submetido a quatro tratamentos (C - controle, DA - Casca de *Dipteryx alata* Vogel, CO - moinha de

carvão e CODA - mix de Casca de *Dipteryx alata* Vogel com moinha de carvão) representados na (Figura 5).

**Figura 5.** Tipos de tratamentos. A: Tratamento controle. B: Casca de *Dipteryx alata* Vogel. C: Moinha de carvão. D: Casca de *Dipteryx alata* Vogel com moinha de carvão.

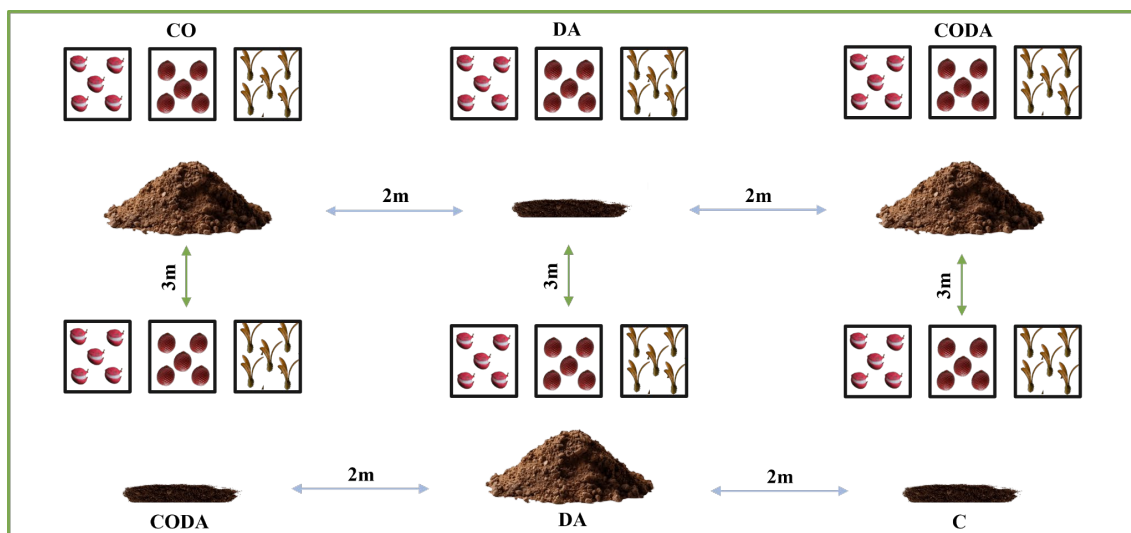


**Fonte:** Os autores, 2025.

Cada tratamento dispôs de 4 repetições, com sementes de cada espécie, as sementes foram dispostas em uma densidade de 15 sementes por berço, sendo 5 sementes

para cada espécie (*Triplaris americana* L., *Protium heptaphyllum* (Aubl.) Marchand e *Mauritia flexuosa* L.f.), totalizando 600 sementes dispostas em 40 berços (Figura 6).

**Figura 6.** Croqui do delineamento experimental.



**Fonte:** Os autores, 2025.

### Análise dos dados

Avaliou-se a sobrevivência e a emergência das sementes ao longo do tempo, com o pacote survival (Therneau T, 2024) e a análise de variância (ANOVA two-way) com o pacote car (John Fox and Sanford Weisberg, 2019), seguida do teste de Tukey. A análise dos pressupostos foi realizada por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Levene. Nenhuma espécie apresentou normalidade nos resíduos, o que é esperado em dados naturais, que nem sempre seguem uma distribuição normal. No entanto, foi observada homogeneidade das variâncias após transformação logarítmica para a espécie *Mauritia flexuosa* L.f. (Df =7, F = 1.8935; p = 0.06984), e sem transformação para *Protium heptaphyllum* (Aubl.) Marchand (Df =1, F = 3.8831; p = 0.07707) e para *Triplaris americana* L., (Df = 4, F= 1.2199; p = 0.3064). Todas as análises foram realizadas no RStudio 4.3.3 (R Core Team, 2024).

A análise do solo foi conduzida seguindo os procedimentos analíticos estabelecidos pela Embrapa, garantindo a confiabilidade dos resultados. Para a determinação dos teores de fósforo (P), potássio (K), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al), utilizou-se o extrator Mehlich-1, método amplamente reconhecido para avaliação da disponibilidade de nutrientes em solos tropicais. O pH foi mensurado tanto em água quanto em solução de CaCl<sub>2</sub>, proporcionando uma avaliação mais precisa da acidez do solo. A quantificação da matéria orgânica (M.O.) foi realizada por meio de oxidação com dicromato de sódio e ácido sulfúrico, método que permite estimar o carbono orgânico presente no solo.

Além disso, a textura do solo foi determinada com base na proporção de argila, silte e areia, parâmetros essenciais para compreender a capacidade de retenção de água e nutrientes, bem como a aeração do solo. Por fim, a capacidade de troca catiônica (CTC) foi calculada, fornecendo informações cruciais sobre a fertilidade do solo e sua capacidade de reter e disponibilizar cátions trocáveis, como cálcio, magnésio e potássio, para as plantas. Essa abordagem metodológica integrada permitiu uma caracterização abrangente das propriedades físicas e químicas do solo, fundamentais para o planejamento de práticas de manejo e restauração ecológica.

## **Resultados**

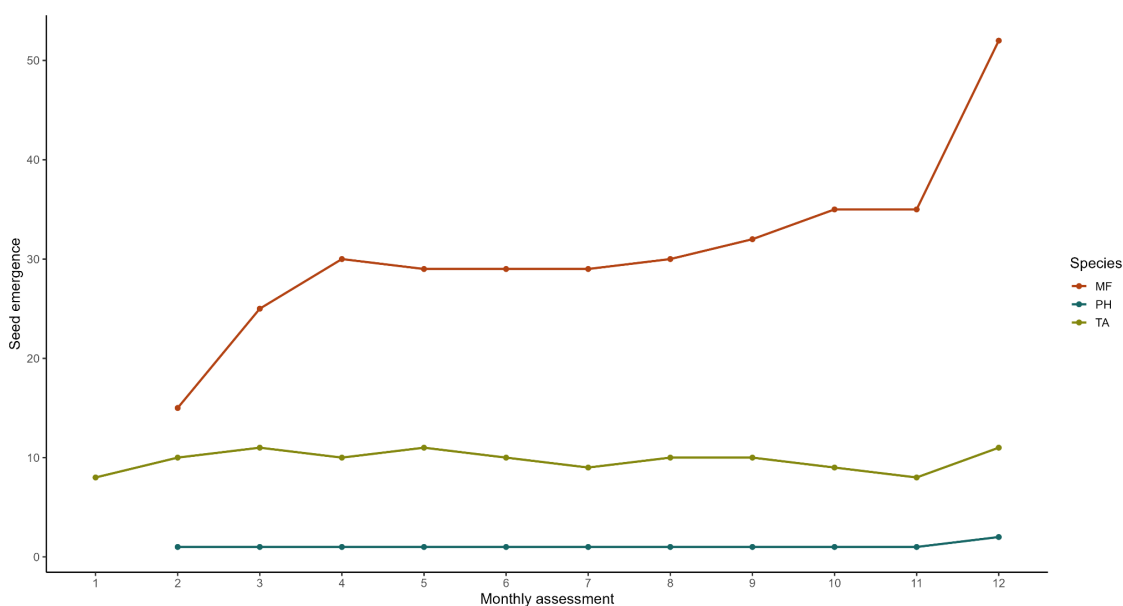
Ao todo foram semeadas 600 sementes numa densidade de 15 sementes/m<sup>2</sup>, destas, emergiram 12,16% (73 indivíduos), numa densidade de 1,82 sementes/m<sup>2</sup>. Sendo 43 presentes nos berços associados aos montículos (58,9%) e 30 indivíduos pertencentes aos berços sem montículos (41,1%). A baixa taxa de emergência observada pode ser devido aos diversos filtros ecológicos tanto bióticos como abióticos, que interferem no sucesso do uso desta técnica.

A espécie que mais teve indivíduos emergindo ao longo de um ano foi a *Mauritia Flexuosa* L.f. com 59, estando presente em sua maioria no tratamento B1-C com 15

plântulas e no B2-C e B2-DA com 10 em cada. Seguida da *Triplaris americana* L com 12 indivíduos presente nos tratamentos B1-C e B1-CO com 4 em cada e no B2-C com 1 indivíduo. Por fim, o *Protium heptaphyllum* (Aubl.) Marchand teve a emergência de apenas 2 indivíduos presente nos tratamentos B1-C e B2-CO com 1 exemplar em cada tratamento.

As sementes da espécie *Triplaris americana* L, foram as primeiras a serem observadas, com cerca de 8 indivíduos emergentes na primeira avaliação. Na segunda avaliação, verificou-se uma predominância de *Mauritia Flexuosa* L.f. com 15 plântulas emergindo, contra apenas 1 indivíduo de *Protium heptaphyllum* (Aubl.) Marchand. Este padrão de emergência foi monitorado até a última avaliação, mantendo a progressão observada (Figura 7).

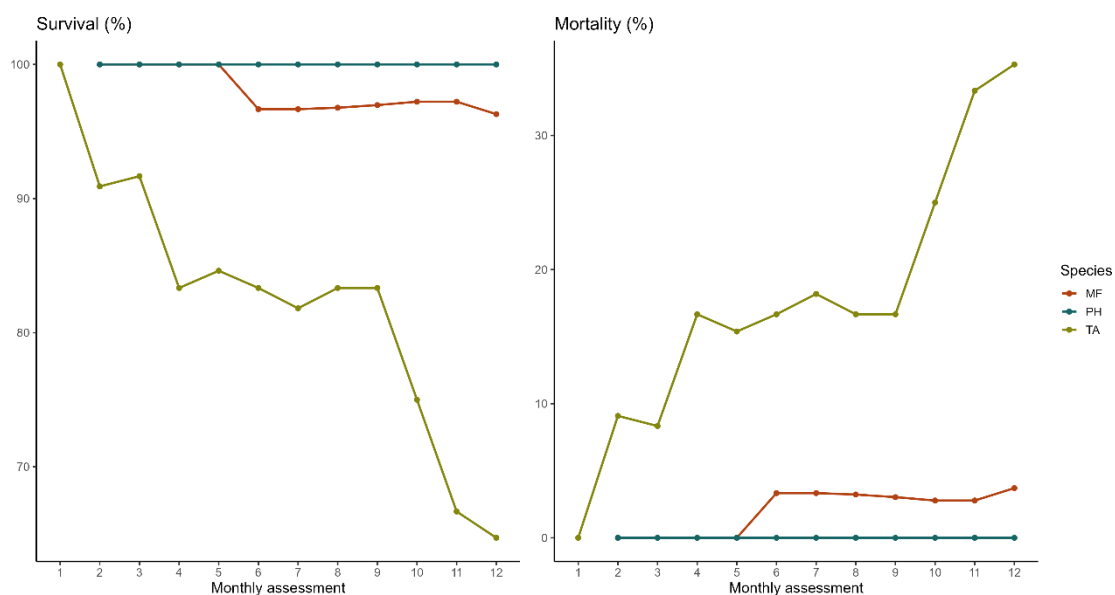
**Figura 7.** Emergência de três espécies, *Triplaris americana* L., *Protium heptaphyllum* (Aubl.) Marchand e *Mauritia flexuosa* L.f., destacados pelas linhas de coloração amarela, verde e vermelha.



**Fonte:** Os autores, 2025.

Dos 73 indivíduos emergentes apenas 65 (89%) plântulas sobreviveram, sendo 58 indivíduos (89,2%) pertencentes à *Mauritia flexuosa* L.f, seguida da *Triplaris americana* L (7,7%) com apenas 5 e *Protium heptaphyllum* (Aubl.) Marchand (3,1%) com 2 plântulas (Figura 8).

**Figura 8.** Análise de sobrevivência e mortalidade das espécies (*Mauritia flexuosa* L.f, *Triplaris americana* L e *Protium heptaphyllum* (Aubl.) Marchand estimado em porcentagem.



Fonte: Os autores, 2025.

A textura do solo foi determinada utilizando um densímetro, resultando em uma classificação de textura média, composta por 24,95% de argila, 22,80% de silte e 52,25% de areia total. Esta categorização é fundamental para compreender a capacidade do solo reter água e nutrientes, bem como sua aeração.

Os testes químicos indicaram um pH de 5,1 na água e 4,3 no CaCl<sub>2</sub>. O teor da matéria orgânica (MO) foi de 74 g/dm<sup>3</sup>. Os níveis de fósforo e potássio foram de 3,5 e 40,7 mg/dm<sup>3</sup> e 1,0 mmol<sub>a</sub>/dm<sup>3</sup>, respectivamente. Os teores de cálcio e magnésio alcançaram 5 mmol<sub>a</sub>/dm<sup>3</sup> e 2 mmol<sub>a</sub>/dm<sup>3</sup>. A acidez potencial (H+Al) atingiu 102 mmol<sub>a</sub>/dm<sup>3</sup>, enquanto a capacidade de troca catiônica (CTC) foi estimada em 109,8 mmol<sub>a</sub>/dm<sup>3</sup>, a saturação foi de 7,4% indicando baixa disponibilidade de cátions trocáveis (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup>) e alta saturação por alumínio (69,4%).

Além disso, os teores de micronutrientes foram determinados utilizando o extrator Mehlich-1. O cobre (Cu), apresentou um valor de 87,6 mg/dm<sup>3</sup>, enquanto o ferro (Fe) atingiu 230,2 mg/dm<sup>3</sup>, o manganês (Mn) 5,6 e o zinco (Zn) com 3,7.

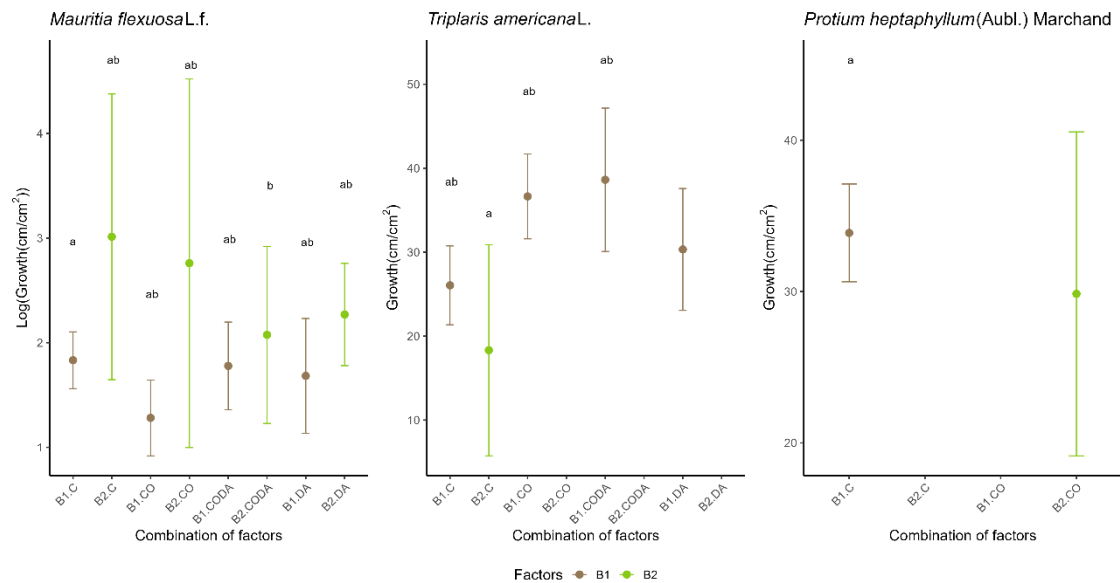
No que diz respeito aos substratos, a moinha de carvão e a casca de *Dipteryx alata* Vogel foram analisadas quanto à sua composição orgânica e mineral. A casca de *Dipteryx alata* Vogel apresentou teores mais elevados de matéria orgânica (22,1%) e carbono orgânico (12,8%) em comparação com a moinha de carvão (6,3% de MO e 3,7% de CO). Ademais, a casca de *Dipteryx alata* Vogel mostrou-se superior em nitrogênio (12,3 g/kg)

e potássio (5,9 g/kg). Por outro lado, a moinha de carvão destacou-se em teores de fósforo (1,9 g/kg), cálcio (9,9 g/kg) e micronutrientes como cobre (15,6 mg/kg), ferro (15630,0 mg/kg), manganês (503,2 mg/kg) e Zinco (61,1 mg/kg).

A análise de variância revelou que a resposta ao uso ou ausência de montículos e os diferentes tratamentos varia entre as espécies. A espécie *Mauritia flexuosa* L.f. foi significativamente favorecida pelo uso ou ausência de montículos no crescimento das plântulas emergidas ( $F^{1,336} = 8.632$ ;  $p = 0.0035$ ), enquanto os tratamentos não tiveram um efeito significativo ( $F^{3,336} = 1.921$ ;  $p = 0.126$ ). Por outro lado, para a espécie *Protium heptaphyllum* (Aubl.) Marchand, nem a presença ou ausência de montículos nem os tratamentos favoreceram significativamente o crescimento das plântulas emergidas ( $F^{1,10} = 0.643$ ;  $p = 0.441$ , para montículos). Já a espécie *Triplaris americana* L. apresentou efeito significativo tanto na presença ou ausência de montículos ( $F^{1,112} = 4.251$ ;  $p = 0.0415$ ) quanto no tipo de tratamento ( $F^{3,112} = 4.050$ ;  $p = 0.0089$ ), sendo que os tratamentos tiveram um impacto mais forte no crescimento. Esses resultados indicam que é necessário considerar as particularidades fisiológicas e morfológicas de cada espécie para otimizar o crescimento das mudas emergidas em áreas aluviais do Cerrado.

O teste de Tukey revelou que todos os tratamentos com presença de montículos tiveram um efeito mais negativo no crescimento das plântulas emergidas *Mauritia flexuosa* L.f., sendo que a combinação de presença de montículo (B1) com moinho de carvão (CO) apresentou um efeito negativo significativo. Para as demais combinações de fator e tratamento, não houve efeitos significativos, sugerindo que a presença ou ausência de montículos e os diferentes substratos não impactaram fortemente o crescimento das mudas emergidas, exceto no caso mencionado anteriormente (Figura 9a).

**Figura 9:** Análise do crescimento das espécies para diferentes combinações de fatores: com montículo (B1) sem montículo (B2) e tratamentos (CO - moinha de carvão, DA - casca de *Dipteryx alata* Vogel, CODA - mix de moinha de carvão com casca de *Dipteryx alata* Vogel e C - tratamento controle), obtida por uma ANOVA. enquanto as letras indicam os grupos formados pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Combinações com a mesma letra não apresentam diferença estatística significativa entre si.



Fonte: Os autores, 2025.

Para a espécie *Triplaris americana* L., a ausência de montículo com o tratamento controle (Fator B2: Tratamento C) mostrou uma tendência de redução no crescimento das plântulas emergidas, embora não seja estatisticamente significativa. Por outro lado, a presença de montículo com moinho de carvão (B1 CO) e com moinho de carvão + casca de *Dipteryx alata* Vogel (B1: CODA) apresentou tendências de aumento no crescimento das plântulas, mas também não foram estatisticamente significativas. Esse resultado pode estar associado à falta de dados (Figura 8b).

Em relação à espécie *Protium heptaphyllum* (Aubl.) Marchand, o teste não foi capaz de explicar a variabilidade dos dados, e nenhum dos fatores ou tratamentos testados teve um efeito significativo no crescimento das mudas emergidas. A falta de dados ou colinearidade impediu a estimativa dos efeitos de outras combinações de fator e tratamento (Figura 8c).

## Discussão

Embora não tenha sido encontrado um efeito significativo da presença de montículos no crescimento de todas as espécies emergidas, observou-se que a *Mauritia Flexuosa* L.f. foi significativamente favorecida pelo uso dessas estruturas. Por outro lado, a *Triplaris americana* L. apresentou respostas variadas, influenciada tanto pela presença de montículos quanto pelo tipo de tratamento.

A emergência de sementes em áreas alagadas é um processo desafiador devido às condições ambientais dinâmicas, como variações no nível de água, competição por recursos e flutuações na fertilidade do solo (Čuda et al. 2024). Nesse contexto, os montículos atuam como microhabitat que melhoram as condições do solo, favorecendo a emergência das plântulas (Lagueux et al. 2021).

No caso da espécie *Mauritia flexuosa* L.f., a taxa de emergência, embora consideravelmente baixa, foi influenciada positivamente pelo uso de montículos ao longo de onze meses. O tratamento controle na presença de montículo destacou-se por favorecer expressivamente a emergência. Contudo, na última avaliação, houve um aumento abrupto na emergência dessa espécie nos tratamentos controle e casca de *Dipteryx alata* Vogel na ausência de montículos. Esse fenômeno pode estar relacionado ao recuo no nível de água observado nos últimos meses da avaliação, sugerindo que a espécie necessita de ciclos de hidratação e desidratação para que ocorra a quebra da dormência das sementes (Dias et al., 2024).

Em contraste, a espécie *Triplaris americana* L. apresentou baixa emergência de sementes nos tratamentos controle e moinha de carvão com a presença de montículo. Apesar de ser uma espécie pioneira, frequentemente associada a áreas abertas e perturbadas, a baixa taxa de emergência pode ser atribuída a uma combinação de fatores, como exigências específicas para germinação, dormência das sementes, sensibilidade às condições do solo, adaptação a distúrbios naturais e predação (Pires et al., 2014).

Por fim, *Protium heptaphyllum* (Aubl.) Marchand registrou a menor taxa de emergência, com apenas dois indivíduos. Esse resultado sugere que a espécie possui exigências ambientais mais específicas para germinação e estabelecimento, ou que os tratamentos aplicados não foram adequados para atender às suas necessidades ecológicas (Costa et al., 2015).

A textura do solo foi classificada como de textura média. Essa composição é fundamental para entender o comportamento do solo, uma vez que a predominância de areia indica menor capacidade de retenção de água, enquanto a presença de argila e silte contribui para a formação de agregados e estabilidade estrutural (Donagema et al. 2011). Essas características influenciam diretamente na disponibilidade de nutrientes, a aeração e o desenvolvimento das raízes (Rajj et al. 2001).

A escolha de substratos adequados também desempenha um papel fundamental no sucesso do estabelecimento das plântulas. A casca de *Dipteryx alata* Vogel apresentou teores mais elevados de matéria orgânica e carbono orgânico em comparação com a moinha de carvão, demonstrando seu potencial para melhorar a estrutura do solo, aumentar a retenção de água e estimular a atividade microbiana (Yuan et al. 2021). Além disso, a casca de *Dipteryx alata* Vogel mostrou-se superior em nitrogênio e potássio, nutrientes fundamentais para o crescimento e desenvolvimento das iniciais das plantas, destacando seu potencial como substrato enriquecedor de solos pobres nesses elementos (Flynn et al., 2021; Eichler-Löbermann et al., 2021).

A moinha de carvão, por sua vez, destacou-se pelos teores elevados de fósforo, cálcio e micronutrientes, indicando sua eficiência em solos com carências específicas desses elementos (Campos et al. 2021). No entanto, o elevado teor de ferro na moinha de carvão pode representar um risco de toxidez para algumas culturas, especialmente em solos ácidos ou mal drenados (Sagwal et al. 2023).

## **Conclusão**

Verificamos que na última avaliação teve um boom de emergência de plântulas, o que pode estar associado as condições climáticas ou a fisiologia da espécie, então sugerimos que nos próximos trabalhos faça se análise que envolva clima. Sugestão teste hídrico, curioso no buriti ele só cresce em área com presença de corpos d'água como que esse se adaptou em B1 e como isso pode afetar a espécie nos próximos 30 anos devido as mudanças climáticas.

A combinação de montículos com compostos orgânicos ricos em nutrientes, como a casca de *Dipteryx alata* Vogel, representa uma estratégia integrada e sustentável para a restauração ecológica de áreas degradadas. Essa abordagem não apenas melhora as condições físicas e químicas do solo, mas também aumenta a resiliência das plantas frente a flutuações ambientais, como secas e inundações. No entanto, a aplicação dessas práticas deve ser adaptada às condições locais, considerando fatores como a fertilidade do solo, a disponibilidade de recursos e as necessidades específicas das culturas.

Em síntese, este estudo reforça a importância de estratégias de manejo que combinam técnicas estruturais, como a formação de montículos, com o uso de materiais orgânicos enriquecidos, como a casca de baru. Essas práticas são fundamentais para

otimizar a fertilidade do solo, promover o crescimento saudável das plantas e garantir o sucesso de projetos de restauração em áreas alagadas.

As principais limitações deste estudo consistiram na reduzida quantidade de espécies analisadas. Futuras pesquisas que ampliem a diversidade e o tamanho amostral poderão consolidar e aprimorar o rigor científico desta linha de investigação.

### **Financiamento**

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior – Brasil (CAPES);

O Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq);

Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT);

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD).

### **Referências**

Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorol. Z.

Alves, V.N., Torres, J.L.R., Lana, R.M.Q., Pinheiro, M.H.O., 2018. Nutrient cycling between soil and leaf litter in the Cerrado (Brazilian savanna) on eutrophic and dystrophic Neosols. Acta Bot. Bras. 32, 169–179. <https://doi.org/10.1590/0102-33062017abb0369>

Berti, C.L.F., Kamada, T., Silva, M.P.D., Menezes, J.F.S., Oliveira, A.C.S., 2017. Crescimento de mudas de baru em substrato enriquecido com nitrogênio, fósforo e potássio. CA 26, 191–202. <https://doi.org/10.32929/2446-8355.2017v26n2p191-202>

Biederman, L.A., Whisenant, S.G., 2011. Using Mounds to Create Microtopography Alters Plant Community Development Early in Restoration. Restoration Ecology 19, 53–61. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2010.00670.x>

Bonilla-Moheno, M., Holl, K.D., 2010. Direct Seeding to Restore Tropical Mature-Forest Species in Areas of Slash-and-Burn Agriculture. Restoration Ecology 18, 438–445. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2009.00580.x>

- Bozelli, R.L., 2019. The challenge of restoring tropical freshwater ecosystems. *Acta Limnol. Bras.* 31, e110. <https://doi.org/10.1590/s2179-975x4619>
- Brancalion, P.H.S., Holl, K.D., 2016. Functional composition trajectory: a resolution to the debate between Suganuma, Durigan, and Reid. *Restoration Ecology* 24, 1–3. <https://doi.org/10.1111/rec.12312>
- Brancalion, P.H.S., Rodrigues, R.R., Gandolfi, S., Kageyama, P.Y., Nave, A.G., Gandara, F.B., Barbosa, L.M., Tabarelli, M., 2010. Instrumentos legais podem contribuir para a restauração de florestas tropicais biodiversas. *Rev. Árvore* 34, 455–470. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622010000300010>
- Campos, C.N.S., Teixeira, G.C.M., Prado, R.D.M., Caione, G., Da Silva Júnior, G.B., David, C.H.O.D., Sales, A.C., Roque, C.G., Teodoro, P.E., 2021. Macronutrient deficiency in cucumber plants: impacts in nutrition, growth and symptoms. *Journal of Plant Nutrition* 44, 2609–2626. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1921205>
- Chakraborti, R.K., Bays, J.S., 2023. Constructed Wetlands Using Treated Membrane Concentrate for Coastal Wetland Restoration and the Renewal of Multiple Ecosystem Services. *Land* 12, 847. <https://doi.org/10.3390/land12040847>
- Chazdon, R.L., Brancalion, P.H.S., Laestadius, L., Bennett-Curry, A., Buckingham, K., Kumar, C., Moll-Rocek, J., Vieira, I.C.G., Wilson, S.J., 2016. When is a forest a forest? Forest concepts and definitions in the era of forest and landscape restoration. *Ambio* 45, 538–550. <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0772-y>
- Čuda, J., Hadincová, V., Petřík, P., Hummel, J., Sejfová, Z., Borovec, J., Bureš, L., Wild, J., Hradecký, J., 2024. Environmental factors shape the relationship between seed bank and vegetation on periodically emerged alluvial gravel bars of the Elbe river. *Preslia* 96, 223–246. <https://doi.org/10.23855/preslia.2024.223>
- Da Silva Almeida, T., Ribeiro, L.M., De Paula Santos Martins, C., Barbosa, T.L., Mercadante-Simões, M.O., De Oliveira Vieira, E., Nunes, Y.R.F., Lopes, P.S.N., 2024. Structural and physiological responses to water availability provide insights into the maintenance of *Mauritia flexuosa* (Arecaceae) seedling

banks. *Forest Ecology and Management* 561, 121881.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.121881>

Da Silva, H.N.P., Dornelles, J.L., Bandeira Junior, G., Barany, A., Da Silva, L.V.F., Mourão, R.H.V., Baldissera, M.D., De Freitas Milarch, C., Portela, V.M., Martínez-Rodríguez, G., Mancera, J.M., Martos-Sitcha, J.A., Baldisserotto, B., 2024. *Protium heptaphyllum* essential oil from the fruit as a sedative and anesthetic in *Rhamdia quelen*: influence in cardiac frequency, biochemical, and oxidative parameters. *Fish Physiol Biochem* 50, 2137–2147.

<https://doi.org/10.1007/s10695-024-01380-z>

Derpsch, R., Friedrich, T., Kassam, A., Hongwen, L., 2010. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *Biol Eng* 3.

Dias, G.P., Ribeiro, L.M., Mazzottini-dos-Santos, H.C., Nunes, Y.R.F., França, M.G.C., 2024. Water stress resilience in *Mauritia flexuosa* (Arecaceae) embryos: New insights into the persistence of recalcitrant seed banks. *Environmental and Experimental Botany* 226, 105930.

<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2024.105930>

Doust, S.J., Erskine, P.D., Lamb, D., 2006. Direct seeding to restore rainforest species: Microsite effects on the early establishment and growth of rainforest tree seedlings on degraded land in the wet tropics of Australia. *Forest Ecology and Management* 234, 333–343. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.07.014>

Eichler-Löbermann, B., Zicker, T., Kavka, M., Busch, S., Brandt, C., Stahn, P., Miegel, K., 2021. Mixed cropping of maize or sorghum with legumes as affected by long-term phosphorus management. *Field Crops Research* 265, 108120.

<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108120>

Flynn, N.E., Comas, L.H., Stewart, C.E., Fonte, S.J., 2021. Deficit irrigation drives maize root distribution and soil microbial communities with implications for soil carbon dynamics. *Soil Science Soc of Amer J* 85, 412–422.

<https://doi.org/10.1002/saj2.20201>

Gonçalves, F.L.A., Resende, A.S., Lima, I.S.S., Chaer, G.M., 2018. Manual Crowning Versus Cardboard in Forest Restoration: Costs and Effect on Seedling

Development. Planta daninha 36. <https://doi.org/10.1590/s0100-83582018360100107>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Ed.), 2019. Biomas e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250 000, Série Relatórios metodológicos. IBGE, Rio de Janeiro.

Junk, W.J., Piedade, M.T.F., Lourival, R., Wittmann, F., Kandus, P., Lacerda, L.D., Bozelli, R.L., Esteves, F.A., Nunes Da Cunha, C., Maltchik, L., Schöngart, J., Schaeffer-Novelli, Y., Agostinho, A.A., 2014. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. *Aquatic Conservation* 24, 5–22. <https://doi.org/10.1002/aqc.2386>

Kettenring, K.M., Tarsa, E.E., 2020. Need to Seed? Ecological, Genetic, and Evolutionary Keys to Seed-Based Wetland Restoration. *Front. Environ. Sci.* 8, 109. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00109>

Kochian, L.V., Piñeros, M.A., Hoekenga, O.A., 2005. The Physiology, Genetics and Molecular Biology of Plant Aluminum Resistance and Toxicity. *Plant Soil* 274, 175–195. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-1158-7>

Lal, R., 2018. Digging deeper: A holistic perspective of factors affecting soil organic carbon sequestration in agroecosystems. *Global Change Biology* 24, 3285–3301. <https://doi.org/10.1111/gcb.14054>

Michel, T., Overbeck, G., 2024. Review of Ecological Restoration in the Brazilian Pampa. *An. Acad. Bras. Ciênc.* 96, e20231283. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202420231283>

Ministério da Agricultura, P. e A., 2017. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos. Mapa.

Nicolay, J., Schepers, M., Nieuwhof, A. (Eds.), 2022. Embracing the salt marsh: foraging, farming and food preparation in the Dutch-German coastal area up to AD 1600: studies in honour of Annet Nieuwhof, *Jaarverslagen van de Vereniging voor Terpenonderzoek*. Vereniging voor Terpenonderzoek ; Barkhuis Publishing, Groningen : Eelde, the Netherlands.

- Nie, W.J., Du, H.D., Xie, S.S., Bi, Y.L., 2024. The function of phytogenic mounds in the accumulation and conservation of soil seed banks in semiarid areas with water erosion. *Front. Environ. Sci.* 12, 1427928.  
<https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1427928>
- Pires, E.M., Silva, L.C., Batirola, L.D., Nogueira, R.M., Barreto, M.R., Corassa, J.N., 2014. *Triplaris americana* L. (Polygonaceae), a New Host Plant For *Aethalion reticulatum* (Linnaeus, 1767) (Hemiptera: Aethalionidae). *Braz. arch. biol. technol.* 58, 31–33. <https://doi.org/10.1590/S1516-8913201400039>
- Quinteros-Gómez, Y.M., Monroy-Vilchis, O., Zarco-González, M.M., Endara-Agramont, Á.R., Pacheco, X.P., 2021. Floristic composition, structure and species conservation status of *Mauritia flexuosa* palm swamps in Andean-Amazonian piedmont in the Department of San Martín, Peru. *Rev.Mex.Biodiv.* 92, 923186. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3186>
- R Core Team, 2024. R: A Language and Environment for Statistical Computing.
- Ribeiro, J. F.; Walter, B. M. T., 1998. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. Embrapa Cerrados 89-166.
- Sagwal, A., Wadhwa, P., Shubham, Kaushal, S., 2023. Essentiality of Micronutrients in Soil: A Review. *IJPSS* 35, 56–65. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i244297>
- Santos, H.G. dos, 2018. Sistema brasileiro de classificação de solos, 5ª edição revista e ampliada. ed. Embrapa, Brasília, DF.
- Silva, O.M.D.C., Nieri, E.M., Santana, L.S., Almeida, R.S.D., Araújo, G.D.C.R., Botelho, S.A., Melo, L.A.D., 2022. Adubação fosfatada no crescimento inicial de sete espécies florestais nativas destinadas à recuperação de uma área degradada. *Ciênc. Florest.* 32, 371–394. <https://doi.org/10.5902/1980509861339>
- Silva, R.R.P., Vieira, D.L.M., 2017. Direct seeding of 16 Brazilian savanna trees: responses to seed burial, mulching and an invasive grass. *Applied Vegetation Science* 20, 410–421. <https://doi.org/10.1111/avsc.12305>
- Strassburg, B.B.N., Brooks, T., Feltran-Barbieri, R., Iribarrem, A., Crouzeilles, R., Loyola, R., Latawiec, A.E., Oliveira Filho, F.J.B., Scaramuzza, C.A.D.M.,

- Scarano, F.R., Soares-Filho, B., Balmford, A., 2017. Moment of truth for the Cerrado hotspot. *Nat Ecol Evol* 1, 0099. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0099>
- Strassburg, B.B.N., Iribarrem, A., Beyer, H.L., Cordeiro, C.L., Crouzeilles, R., Jakovac, C.C., Braga Junqueira, A., Lacerda, E., Latawiec, A.E., Balmford, A., Brooks, T.M., Butchart, S.H.M., Chazdon, R.L., Erb, K.-H., Brancalion, P., Buchanan, G., Cooper, D., Díaz, S., Donald, P.F., Kapos, V., Leclère, D., Miles, L., Obersteiner, M., Plutzer, C., De M. Scaramuzza, C.A., Scarano, F.R., Visconti, P., 2020. Global priority areas for ecosystem restoration. *Nature* 586, 724–729. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2784-9>
- Suding, K., Spotswood, E., Chapple, D., Beller, E., Gross, K., 2016. Ecological Dynamics and Ecological Restoration, in: Palmer, M.A., Zedler, J.B., Falk, D.A. (Eds.), *Foundations of Restoration Ecology*. Island Press/Center for Resource Economics, Washington, DC, pp. 27–56. [https://doi.org/10.5822/978-1-61091-698-1\\_2](https://doi.org/10.5822/978-1-61091-698-1_2)
- Tauc, F., Houle, D., Dupuch, A., Doyon, F., Maheu, A., 2020. Microtopographic refugia against drought in temperate forests: Lower water availability but more extensive fine root system in mounds than in pits. *Forest Ecology and Management* 476, 118439. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118439>
- Teixeira, P. C. Donagemma, G. K. Fontana, A. Teixeira, W. G., 2017. *Manual de métodos de análise de solos*, 3rd ed. Brasília, DF.
- van Raij, J.C. de Andrade, H. Cantarella e J.A. Quaggio., 2001. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Instituto Agronômico, Campinas.
- Wang, C.G., Zheng, X.B., Wang, A.Z., Dai, G.H., Zhu, B.K., Zhao, Y.M., Dong, S.J., Zu, W.Z., Wang, W., Zheng, Y.G., Li, J.G., Li, M. -H., 2021. Temperature and Precipitation Diversely Control Seasonal and Annual Dynamics of Litterfall in a Temperate Mixed Mature Forest, Revealed by Long-Term Data Analysis. *JGR Biogeosciences* 126, e2020JG006204. <https://doi.org/10.1029/2020JG006204>
- Yuan, Z., Jin, X., Guan, Q., Meshack, A.O., 2021. Converting cropland to plantation decreases soil organic carbon stock and liable fractions in the fertile alluvial

plain of eastern China. Geoderma Regional 24, e00356.

<https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2021.e00356>